

# Naar een betere benutting van bodemfosfor

## Tussenrapportage Onderzoek in 2012-2013

Kees van Wijk, PPO AGV  
Petra Rietberg, Louis Bolk Instituut  
Bart Timmermans, Louis Bolk Instituut

© 2014 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO.

Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Business Unit Akkerbouw, Groene Ruimte en Vollegrondsgroenten

DLO is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

PPO Publicatienr. 626



Dit onderzoek is mogelijk gemaakt door het Ministerie EZ



Projectnummer: 3250237200

Louis Bolk Instituut  
Hoofdstraat 24  
3972 LA Driebergen  
+ 31 343 523 860  
+ 31 343 515 611  
[info@louisbolk.nl](mailto:info@louisbolk.nl)  
[www.louisbolk.nl](http://www.louisbolk.nl)

**Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, onderdeel van Wageningen UR  
Business Unit Akkerbouw, Groene Ruimte en Vollegrondsgroenten**

Adres : Postbus 430, 8200 AK Lelystad  
: Edelhertweg 1, Lelystad  
Tel. : +31 320 29 11 11  
Fax : +31 320 23 04 79  
E-mail : [infoagv.ppo@wur.nl](mailto:infoagv.ppo@wur.nl)  
Internet : [www.ppo.wur.nl](http://www.ppo.wur.nl)

# Inhoudsopgave

pagina

SAMENVATTING.....	5
1 ALGEMENE INLEIDING EN LEESWIJZER.....	9
2 ROL VAN BEMESTINGSSTRATEGIE EN ORGANISCHE BRONNEN IN P-VOORZIENING BIJ MEST ALS KANS.....	13
2.1 Inleiding.....	13
2.2 Achtergrond.....	13
2.2.1 Organisch gebonden fosfor.....	13
2.2.2 Mineralisatie van fosfor uit organische bronnen inschatten.....	14
2.3 Materialen en methoden.....	15
2.3.1 Effecten van bemesting op fosforhuishouding: veldexperimenten.....	15
2.3.2 Analysemethoden van organisch fosfor.....	16
2.3.3 Vrijkomen van fosfor door mineralisatie van organisch materiaal: modelberekening.....	16
2.4 Resultaten.....	17
2.4.1 Effecten van bemesting op fosforhuishouding.....	17
2.4.2 P-totaal.....	19
2.4.3 Mineralisatie van fosfor uit organische stof.....	21
2.5 Discussie & conclusie.....	22
2.5.1 Effecten van bemesting op fosforhuishouding.....	22
2.5.2 Aandeel organisch (gebonden) fosfor.....	23
2.5.3 Mineralisatie van fosfor uit organische bronnen.....	23
3 TELEN BIJ LAGE FOSFORGEHALTES: FOSFORDYNAMIEK OP TWEE BIOLOGISCHE GEMENGDE BEDRIJVEN.....	27
3.1 Inleiding.....	27
3.2 Materialen en methoden.....	27
3.3 Resultaten.....	28
3.3.1 Rotatie, en aanvoer en afvoer van fosfor.....	28
3.3.2 Bodemanalyse & fractionering van fosfor.....	30
3.3.3 Zonnehoeve 1983 vs. Zonnehoeve 2013.....	33
3.3.4 Gangbaar versus biologisch bodembeheer: buurpercelen vergeleken.....	34
3.4 Discussie en conclusies.....	35
3.4.1 Fosforgebrek en fosforlimitatie.....	35
3.4.2 Fosforbalans.....	35
3.4.3 Bodemfosforstatus van praktijkbedrijven met sinds decennia beperkte externe aanvoer van fosfor.....	35
3.4.4 Verschillen in bodemfosforstatus na jarenlang biologisch en gangbaar bodemmanagement: buurpercelen vergeleken.....	36
4 FOSFAATOPNAME DOOR GROENBEMESTERS EN EFFECT OP VOLGGEWAS.....	37
4.1 Inleiding.....	37
4.2 Materialen en methoden.....	37
4.3 Resultaten: groenbemesters en volggewas peen.....	39
4.3.1 Groenbemesters.....	39
4.3.2 Volggewas peen.....	42
4.3.3 Tussenoogst peen.....	42
4.3.4 Eindooft peenwortels.....	44
4.3.5 Eindooft totale peengewas.....	47

4.4	Discussie en conclusies.....	49
4.4.1	Groenbemesters.....	49
4.4.2	Effect groenbemesters op volggewas peen.....	50
4.4.3	Grondbewerkingssysteem.....	50
4.4.4	Hoe verder?.....	51
LITERATUUR.....		53
BIJLAGE 1 SCHEMA GROENBEMESTERSPROEF 2012/2013.....		57

# Samenvatting

Vanwege de eindigheid van de wereldvoorraad makkelijk winbaar fossiel fosfor en om fosforemissies uit (overbemeste) landbouwgronden naar grond- en oppervlaktewater te verminderen, is het Nederlandse landbouwbeleid gericht op het verlagen van fosforbemesting. Het doel van dit beleid is om de P-toestand in bodems met een hoge fosfortoestand te laten dalen, en bodems met een relatief lage toestand niet meer dan landbouwkundig noodzakelijk, te verhogen. Op termijn speelt de vraag hoe je bij lage fosforbemesting toch nog goed gewassen kunt telen? Het wordt steeds belangrijker om het fosfor dat in de bodem aanwezig is, te benutten. Dit project heeft als doel te onderzoeken hoe dit kan en hoe dit gekwantificeerd kan worden.

In 2012 is door het Louis Bolk Instituut (LBI) en PPO-AGV een project gestart met de volgende doelen:

- a) kwantificeren van het effect van langjarige organische en anorganische bemesting op de fractie organisch gebonden fosfaat in de bodem en dit correleren aan indicatoren voor de fosfaatvoorziening van de gewassen;
- b) een bijdrage leveren aan de ontwikkeling van een rekenmodel om de mineralisatie van fosfaat te voorspellen;
- c) inzicht krijgen in de P-huishouding van twee gemengde praktijkbedrijven met zeer beperkte externe aanvoer van P;
- d) nagaan of en in hoeverre intensieve of minimale grondbewerking invloed heeft op de fosfaatbenutting door het gewas;
- e) kwantificeren van verschillen in opname c.q. benutting van bodemfosfaat tussen verschillende typen groenbemesters en hoeveel hiervan (na inwerken van de groenbemesters) beschikbaar komt voor het volggewas.

Het project loopt van 2012-2014. Deze tussenrapportage betreft de projectjaren 2012 en 2013.

## *Effecten van bemesting op fosforhuishouding en vrijkomen van fosfaat door mineralisatie van organisch materiaal*

Bemesting is één van de belangrijke management strategieën die een agrariër tot zijn beschikking heeft om nutriëntenstromen te sturen. In dit onderzoek werd een antwoord gezocht op de volgende vragen: 1. Wat is de invloed van bemestingstype op de bodemfosfortoestand? 2. Welk deel van het fosfor is organisch gebonden? 3. Hoeveel fosfaat komt er vrij door mineralisatie van organische bronnen, hoe kan dit worden ingeschat en verschilt het voor verschillende bemestingstypen? Dit is onderzocht op een intensief biologisch-dynamisch akkerbouwbedrijf op kalkrijke lichte zavel in Flevoland, waar sinds 14 jaar verschillende bemestingsregimes met elkaar worden vergeleken op het Mest Als Kans (MAK)-proefveld. Drie objecten van het MAK-proefveld zijn geselecteerd om antwoord te geven op vraag 1 en 2: natuurcompost, kippenmest en NPK. Organisch fosfor werd gemeten met de Kuo-methode en berekend op basis van een vaste C:P-verhouding van de organische stof en als verschil in P-totaal en P-oxalaat. Daarnaast zijn de drie geselecteerde behandelingen en het mineralisatie-model NDICEA gebruikt om een inschatting te geven van mineralisatie van fosfor uit organische bronnen (bodemorganische stof, mest, groenbemesters, gewasresten, vraag 3).

Jarenlange verschillen in aanvoer van bemesting hebben slechts tot kleine verschillen in bodem-P-status geleid. Tussen de behandelingen werden geen significante verschillen waargenomen in P-CaCl<sub>2</sub>, P-Al, P-oxalaat, P-PAE en P-organisch (bepaald met Kuo-methode). P-totaal was hoger in de behandelingen met compost (1888 kg ha<sup>-1</sup>) dan met NPK (1739 kg ha<sup>-1</sup>), waarschijnlijk veroorzaakt door een hogere gift van gemiddeld 25 kg P ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>. Pw was iets hoger in de behandeling met kippenmest (49 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup>) dan in die met compost (39 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup>), waarschijnlijk gerelateerd aan een hogere P2O5-gift in 2013. In alle behandelingen was de Pw ruim voldoende. De fosfaatverzadiging lag 1,5% hoger in de behandeling met kippenmest. Agronomisch gezien lijken de gevonden verschillen weinig relevant. De resultaten wijzen op een beperkte invloed van het type bemesting op de bodemvoorraad fosfor en de verdeling van fosfor over de verschillende fracties. Bodemtype, grondbewerking en vruchtwisseling hebben wellicht een minstens zo grote of grotere invloed.

Organisch fosfor maakt volgens de schattingen en metingen tussen de 10 en 49% uit van het totale bodemfosfor, dat is tussen de 212 en 922 kg ha<sup>-1</sup>. Met de Kuo-bepaling werd een aandeel van 10-13% van P-totaal gevonden. De berekeningen wijzen op een hoger organisch-P gehalte in de behandeling met VAM-compost dan in de behandeling met kippenmest en NPK. Dit blijkt echter niet uit de metingen. Zure-fosfatase-activiteit verschilde niet tussen de behandelingen. De gevonden waarden voor zure fosfatase-activiteit lagen 10 tot 100 keer zo hoog als in de literatuur. Deze resultaten geven weinig aanleiding om aan te nemen dat fosfatase-activiteit een geschikte indicator is voor de hoeveelheid organisch fosfor die mineraliseert.

De berekeningen laten zien dat de fosfor die potentieel beschikbaar komt door de afbraak van organisch materiaal tussen de 30 en 40 kg P ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> ligt voor VAM-natuurcompost, tussen de 31 en 49 kg P ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> voor kippenmest en tussen de 6 en 15 kg P ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> voor NPK. De hoeveelheid die beschikbaar komt is voldoende voor de gewasvoorziening bij beide behandelingen met organisch materiaal (kippenmest en compost), terwijl de voorziening in de behandeling met kunstmest beperkter is. Deze berekeningen laten zien dat bemestingsstrategie van invloed is op de mineralisatie van fosfor uit organische bronnen: de bemestingsregimes met organische mest zorgen voor een grotere mineralisatie van fosfor uit het organisch materiaal in de grond dan de bemesting met kunstmest. Dit blijkt echter niet uit de berekening: De gebruikte meetmethoden zijn niet in staat om de flux van gemineraliseerd organisch fosfor te meten, en/of de modelberekeningen leveren een overschatting van de verschillen tussen de behandelingen op.

#### *P-huishouding van twee gemengde praktijkbedrijven met beperkte externe aanvoer van P*

Biologische bedrijven lopen voorop als het gaat om telen bij lage fosfor-inputs. Over de fosfordynamiek op deze bedrijven is echter weinig bekend: het doel van dit onderzoek was om daar meer inzicht in te krijgen. In het bijzonder richtte het onderzoek zich op het waarnemen van fosforlimitatie in de gewassen, het analyseren van de bodemfosforstatus en de vraag of de bodem qua fosfor wordt uitgemijnd.

Hiertoe zijn twee gemengde biologische bedrijven geselecteerd waar geteeld wordt met zeer beperkte externe aanvoer van fosfor: Stadsboerderij Almere en de Zonnehoeve. Op deze bedrijven zijn opbrengst en fosforgehalte van gewassen bepaald, en voor de Zonnehoeve tevens een fosforbalans op perceelniveau. Bodemfosforstatus werd onderzocht door bodemmonsters uit te analyseren op P-totaal, P<sub>w</sub>, P-CaCl, P-PAE, P-Al, P-organisch en zure en alkaline fosfatase-activiteit. Tevens werden monsters uit 1983 en 2013 van de Zonnehoeve en van een gangbaar buurperceel geanalyseerd en vergeleken.

Op de Stadsboerderij worden gras-klover, ui, peen, wintertarwe, rode bieten, erwten, bonen, spinazie en kool geteeld, in een rotatie van 9 jaar. Gemiddeld werd er zo'n 30 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> aangevoerd. Op de Zonnehoeve bestaat de huidige rotatie uit 4 jaar, waarvan 2 jaar gras-klover en 2 jaar graan, erwten of bonen. Op de Zonnehoeve werd op de onderzochte percelen gemiddeld per jaar 34 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aangevoerd, terwijl zo'n 28 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> wordt afgevoerd. De telers van beide bedrijven ervaren geen fosfaatgebrek in het gewas. Wel werden lage fosforgehaltes gemeten in het gewas. Een experiment met fosforbemesting moet uitwijzen in hoeverre fosfor limiterend is voor de groei. Voor beide bedrijven werden zeer lage waarden gevonden voor P-AL, P<sub>w</sub> en P-PAE, die beschikbaarheid van bodemfosfor indiceren.

Een vergelijking van de monsters uit 1983 en uit 2013 laat zien dat P-totaal of koolstof-gehalte van de percelen op de Zonnehoeve niet veranderd is: van uitmijning is dus geen sprake. Wel was de P<sub>w</sub> in 2013 lager, wat duidt op een verminderde plantbeschikbaarheid van fosfor. Opvallend genoeg nam organisch gebonden P zowel in absolute als relatieve zin toe, van 122 naar 189 mg kg<sup>-1</sup> (22% respectievelijk 31% van P-totaal in 1983 en 2013). Fosfatase-activiteit vertoonde, in tegenstelling tot wat verwacht werd, geen relatie met fosforgehalte, organisch fosfor of een andere bodemparameters, en metingen van fosfatase-activiteit leidden niet tot een kwantitatieve inschatting van fosfor-mineralisatie.

Er werden nauwelijks verschillen gevonden tussen de bodemmonsters van de Zonnehoeve en het gangbaar gemanagede buurperceel uit 1983. In 2013 waren er echter aanzienlijke verschillen: P-totaal, P<sub>w</sub> en P-anorganisch waren hoger op het buurperceel, terwijl P-organisch relatief en absoluut lager was dan op de Zonnehoeve. Dit wijst op een grotere rol voor organisch fosfor op de Zonnehoeve dan op het gangbare bedrijf. In hoeverre dit ook geldt voor een grotere groep biologische en gangbare bedrijven is een vraag voor vervolgonderzoek.

Het onderzoek op de praktijkbedrijven laat zien dat er biologische gemengde bedrijven zijn die telen bij lage externe aanvoer van fosfor, zowel op bedrijfsniveau als op perceelniveau. Verklaringen voor het ontbreken van fosforgebrek kunnen liggen in bodemstructuur en beworteling, in het grote aandeel vlinderbloemigen in

het bouwplan, de beperkte fosforbehoefte van de geteelde gewassen, en de mogelijke bijdrage van mineralisatie van fosfor uit organische bronnen.

*P-opname groenbemesters bij intensieve en minimale grondbewerking en het effect daarvan voor het volggewas*

Om verschillen in opname c.q. benutting van bodemfosfaat tussen verschillende typen groenbemesters te kwantificeren en te toetsen hoeveel hiervan (na inwerken van de groenbemesters) beschikbaar komt voor het volggewas, is in seizoen 2012-2013 op PPO-AGV te Lelystad een proef uitgevoerd met drie typen groenbemesters: Italiaans raaigras, winterwikke en bladrammenas, naast *geen* groenbemester. De proef is aangelegd op een perceel met standaard ploegen en op een perceel met minimale grondbewerking, waarvan verondersteld wordt dat daar het organisch fosfaat zich meer in de bovenlaag zal bevinden en zodoende eerder bereikbaar is voor een volggewas. De droge stof en de gehalten van de groenbemesters zijn bepaald vóór en na de winter. Het volggewas in deze proef was peen. Daarvan zijn opbrengst en gehalten bepaald.

*P-opname groenbemester:* Italiaans raaigras produceerde de meeste droge stof en legde het meest fosfaat vast. Winterwikke ontwikkelde zich slecht en had weinig hergroei in het koude voorjaar. De gele mosterd is alleen voor de winter geoogst en vroom daarna uit. Voor de groenbemesters blijken de succesfactoren voor een hoge fosfaatopname te zijn: de keuze van een groeikrachtige groenbemester liefst met een hoog fosfaatgehalte, die in korte tijd veel droge stof produceert. De droge stofproductie wordt bepaald door de groeikracht van de groenbemester, de beschikbare groeitijd en de weersomstandigheden tijdens de groeiperiode.

*Effect van intensieve (ploegen) of minimale grondbewerking (niet-ploegen):* bij niet-ploegen is de groenbemester in de winter blijven staan en in het voorjaar bemonsterd. In de winter is het gewas 'gesleten' en door rot was de droge stofproductie lager dan bij bemonstering in de herfst bij de behandeling ploegen. Het winterweer bepaalde dus sterk de droge stofproductie en daarmee de fosfaatopname. Grondbewerking ploegen gaf een gemiddeld hogere peen opbrengst maar dit verschil was niet betrouwbaar. Onderzocht zal nog worden of het organisch stof gehalte bij niet-ploegen in de bovenste lagen hoger is, wat zou kunnen inhouden, dat meer organische gebonden fosfaat beschikbaar is voor het volggewas.

*Effect op volggewas peen:* Bij een hogere fosfaatopname door de groenbemester ( en na onderwerken, daardoor een hoger fosfaataanbod) nam de peen opbrengst niet toe . Dit kan veroorzaakt zijn doordat de fosfaattoestand al hoog genoeg was voor dit minder fosfaatbehoefte gewas of, doordat de fosfaat uit de organische stof van de groenbemester niet beschikbaar is gekomen. Nader onderzoek wordt uitgevoerd met een meer fosfaatgevoelig volggewas (kropsla) en op grondsoorten met een zeer lage fosfaattoestand.





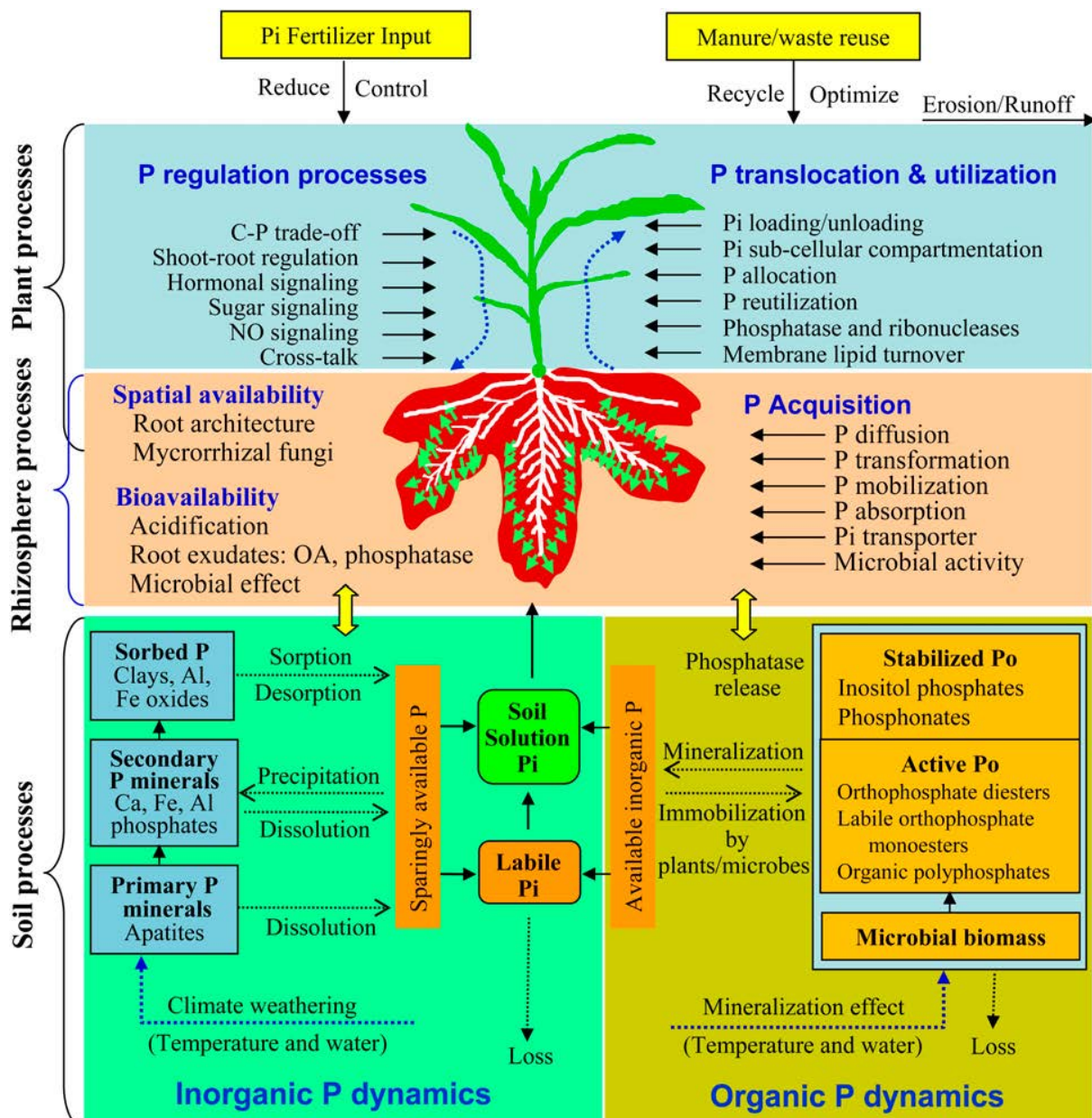
# 1 Algemene inleiding en leeswijzer

Vanwege de eindigheid van de wereldvoorraad makkelijk winbaar fossiel fosfor, en om fosforemissies uit (overbemeste) landbouwgronden naar grond- en oppervlaktewater te verminderen, is het Nederlandse landbouwbeleid gericht op het verlagen van fosforbemesting. Het doel van dit beleid is om in bodems met een hoge fosfortoestand het niveau te laten dalen, en bodems met een relatief lage toestand het niveau niet meer dan landbouwkundig noodzakelijk te verhogen. Instrumenten daartoe zijn minimale fosforbemesting, fosforevenwichtsbemesting en het sluiten van fosforkringlopen. Op termijn speelt de vraag hoe je bij lage fosforbemesting toch nog goed gewassen kunt telen. Het wordt steeds belangrijker om het fosfor dat in de bodem aanwezig is, te benutten. Dit project heeft als doel te onderzoeken hoe dit kan en hoe dit gekwantificeerd kan worden.

In Flevoland liggen een aantal biologische praktijkbedrijven die sinds jaren met een erg lage externe aanvoer van fosfor telen. Deze bedrijven zeggen geen problemen met fosfaatlimitatie te hebben. Deze bedrijven vormen een aanleiding voor deze studie. Om meer inzicht in deze situatie te krijgen is in 2011-2012 een literatuurstudie uitgevoerd (Timmermans et al., 2012), waaruit een aantal kennislacunes en hypothesen naar voren zijn gekomen die we nu kort zullen bespreken. Andere recente studies op dit terrein zijn uitgevoerd door Russchen et al. (2011) en De Boer (2008).

Fosforvraagstukken zijn complex, en voor een goed inzicht van de fosfordynamiek in de bodem is begrip van meerdere processen nodig, zoals benadrukt door Shen et al. (2011) en geïllustreerd in Figuur 1. Het blok rechts onderin benadrukt de rol van organisch fosfor en de mogelijke bijdragen van organisch fosfor aan plantenvoeding. Het aandeel organisch fosfor in de bodem wordt mogelijk beïnvloedt door management, zoals bemestingsstrategie. Op gronden waar enkel dierlijke mest of compost gebruikt wordt is het aandeel organisch fosfor mogelijk hoger dan op gronden waar enkel kunstmest gebruikt wordt.

Om overbemesting te voorkomen en de bestaande fosforvoorraad in de bodem beter te benutten, is een goede voorspelling van de beschikbaarheid van bodemfosfor onontbeerlijk. Het huidige fosfaatadvies voor bouwland is gebaseerd op Pw: hierin zit een veiligheidsmarge, waardoor vaak meer fosfaat wordt geadviseerd dan nodig is voor een optimale gewasopbrengst en -kwaliteit. Een recente verbetering lijkt het meten van fosfaat-intensiteit ( $P\text{-CaCl}_2$ ) en -capaciteit ( $P\text{-AL}$ ). Hiermee kan de beschikbaarheid voor het gewas nauwkeuriger worden vastgesteld. Echter, in de huidige chemische analysemethoden wordt organisch fosfor niet meegenomen, terwijl mineralisatie van organisch fosfor wel een bijdrage aan de gewasvoorziening kan leveren (zie ook Timmermans et al., 2012). Er is nog weinig bekend over de kwantitatieve bijdrage van organisch fosfor. Het inschatten van de hoeveelheid gemineraliseerd fosfor kan bijdragen aan het beter voorspellen van fosforbeschikbaarheid.



Figuur 1. **P dynamiek in het bodem-rhizosfeer-plant-continuum.** C-P, koolstof- P; NO, stikstofoxide; OA, organische zuren. Uit: Shen et al., 2011.

Ook gewasrotatie, bemesting en management beïnvloeden de fosforbeschikbaarheid en – opname. Gewassen verschillen in de mate waarin ze het fosfaat in de bodem weten te benutten. Dat geldt ook voor groenbemesters. Kruisbloemige en vlinderbloemige groenbemesters nemen fosfaat op uit de bodem, ook bij lage fosfaattoestand. Na inwerken van de groenbemester komt een deel van het opgenomen fosfaat beschikbaar voor het volggewas. Hoe groot hiervan het effect is op de benutting van het bodemfosfaat, is onvoldoende gekwantificeerd.

*Doelen:* op grond van de bovenstaande overwegingen en hypothesen zijn binnen dit project de volgende doelen opgesteld:

- a) kwantificeren van het effect van langjarige organische en anorganische bemesting op de fractie organisch gebonden fosfaat in de bodem en dit correleren aan indicatoren voor de fosfaatvoorziening van de gewassen;

- b) een bijdrage leveren aan de ontwikkeling van een rekenmodel om de mineralisatie van fosfaat te voorspellen;
- c) inzicht krijgen in de P-huishouding van twee gemengde praktijkbedrijven met zeer beperkte externe aanvoer van P;
- d) nagaan of en in hoeverre intensieve of minimale grondbewerking invloed heeft op de fosfaatbenutting door het gewas;
- e) kwantificeren van verschillen in opname c.q. benutting van bodemfosfaat tussen verschillende typen groenbemesters en hoeveel hiervan (na inwerken van de groenbemesters) beschikbaar komt voor het volggewas.

*Leeswijzer:* In hoofdstuk 2 staan analyseresultaten van het langjarig proefveld MAK met verschillende bemestingsstrategieën (projectdoel a) en de eerste modelberekeningen van fosformineralisatie uit organische bronnen (projectdoel b). Hoofdstuk 3 beschrijft onderzoek naar twee praktijkbedrijven met een jarenlange lage P-aanvoer (projectdoel c). Resultaten van een groenbemestersproef met volggewas peen (projectdoelen d en e) staan in hoofdstuk 4. Projectdoel a, b en c zijn onderzocht door het Louis Bolk Instituut (hoofdstuk 2 en 3). Projectdoel d en e zijn onderzocht door PPO-WUR (hoofdstuk 4).



## 2 Rol van bemestingsstrategie en organische bronnen in P-voorziening bij Mest Als Kans

*Petra Rietberg & Bart Timmermans, Louis Bolk Instituut*

### 2.1 Inleiding

Bemesting is één van de belangrijke managementstrategieën die een agrariër tot zijn beschikking heeft om nutriëntenstromen te sturen en de nutriëntenhuishouding op het bedrijf te beïnvloeden. Kennis over het effect van verschillende typen mest, hun effect op de fosfordynamiek in de bodem en opname-efficiëntie is daarom zeer belangrijk.

Mestsoorten verschillen in de verhouding tussen P-mineraal en P-organisch, stabiliteit van organische stof en verhoudingen in verschillende elementen (bijvoorbeeld C:N en C:P-verhouding). Het is daarom waarschijnlijk dat het type mest dat aan de bodem wordt toegediend van invloed is op de opbouw van fosfor in de bodem, en ook op de opbouw van organisch fosfor en de snelheid waarmee organisch fosfor mineraliseert. Op gronden waar enkel organische mest wordt gebruikt, (biologische bedrijven) is het aandeel organisch fosfor in de grond mogelijk hoger dan op gronden waar voornamelijk kunstmest wordt gebruikt.

Organisch fosfor kan een rol spelen in plantenvoeding, doordat organisch fosfor in anorganische vorm beschikbaar komt voor planten na verademing van bodemorganische stof (Timmermans *et al.*, 2012). Het aandeel organisch fosfor op Nederlandse akkerbouwgrond is onbekend. Dit kan worden ingeschat met behulp van berekeningen, of worden gemeten. Met de gebruikelijke bodemanalyses wordt echter vooral anorganisch fosfor (fosfaat) gemeten, en er zijn geen standaardprocedures voor het bepalen van organisch fosfor.

Er is bovendien nog weinig bekend over de bijdrage van mineralisatie van organisch fosfor aan plantenvoeding in kwantitatieve zin. In de bemestingsadvisering wordt hiermee dan ook geen rekening gehouden. Door een betere voorspelling van de fosforbeschikbaarheid kunnen nauwkeurigere fosfaatbemestingsadviezen worden gegeven, wat nodig is om overbemesting te voorkomen.

In dit hoofdstuk wordt antwoord gezocht op de volgende drie vragen:

1. Wat is de invloed van bemestingstype op de bodemfosfortoestand?
2. Welk deel van het fosfor is organisch gebonden?
3. Hoeveel fosfaat komt er vrij door mineralisatie van organische bronnen, hoe kan dit worden ingeschat en verschilt het voor verschillende bemestingstypen?

Deze vragen worden onderzocht op een intensief biologisch-dynamisch akkerbouwbedrijf op kalkrijke lichte zavel in Flevoland. Hier worden sinds 14 jaar verschillende bemestingsregimes met elkaar vergeleken op het Mest Als Kans (MAK) -proefveld. Dit proefveld kent behandelingen met veel en weinig organisch materiaal, en uitsluitend kunstmest. Drie objecten van het MAK-proefveld zijn geselecteerd om antwoord te geven op vraag 1 en 2. Daarnaast zijn deze drie behandelingen en het mineralisatie-model NDICEA gebruikt om een inschatting te geven van mineralisatie van fosfor uit organische bronnen (bodemorganische stof, mest, groenbemesters, gewasresten, vraag 3).

### 2.2 Achtergrond

#### 2.2.1 Organisch gebonden fosfor

Organisch fosfor is een breed onderwerp waar zo'n 8000-9000 wetenschappelijke publicaties over zijn verschenen. Harrisson (1987) en Dalal (1977) geven een goed overzicht van onderzoeksthema's en de

breedte van het onderwerp.

Er is geen goede definitie van organisch fosfor. De fosfor die gebonden zit aan het organische-stof-complex wordt vaak samengenomen met de fosfor die in organische stof terecht is gekomen via plantenresten, compost en mest. Organisch fosfor komt in veel vormen voor in de bodem.

Vaak is het verbonden met een esterverbinding en is het snel vrij te maken met zuur. Daarnaast zit het als anion gebonden aan organische stof, en kan het desorberen – humuszuren, bijvoorbeeld uit mest, kunnen fosfaat losmaken uit het adsorptiecomplex.

Dat chemische proces is één van de belangrijkste processen die zorgt voor een verhoogde beschikbaarheid van fosfor na toediening van dierlijke mest. Hiervoor is verademing van organische stof, een proces waarbij óók fosfor vrij kan komen, dus niet nodig. In sterk fosfaat-fixerende bodems werkt aanvoer van organische meststoffen echter niet om de beschikbaarheid van fosfor te vergroten vanwege de competitieve sorptie. Voor opname van fosfor van organische oorsprong door planten en organisch fosfor als voorziening voor het gewas is vooral veel aandacht in natuurgebieden. Het is onbekend welke rol dit speelt in landbouwsystemen, die over het algemeen rijker zijn in fosfaat.

## 2.2.2 Mineralisatie van fosfor uit organische bronnen inschatten

### Correlatie tussen N-mineralisatie en organisch fosfor

Kirkby et al. (2011) onderscheiden twee typen analysemethoden van organisch fosfor: methoden waarbij organisch fosfor gemeten wordt door extractie met een zuur, na vernietiging van het organisch materiaal (bijvoorbeeld door gloeien of extractie met een sterk zuur), en methoden waarbij sterke zuren gebruikt worden om organisch gebonden P van het cation los te maken en te extraheren met een base.

In samenwerking met het CBLB zijn door Philip Ehlert vier semi-kwantitatieve methoden om organisch P te bepalen, vergeleken (er zijn er tientallen):

- Bouwman & Moir, 1993, een kleuringsreactie, die aanpassing vroeg van de colorimetrische bepalingmethode van het CBLB en daarom niet verder werd uitgewerkt.
- Lepelaar & Schoumans, extractie met 5% HCl, een verschilbepaling voor en na gloeien.
- Kuo, extractie met 0,5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> een verschilbepaling voor en na gloeien, waarbij de organische stof die bijdraagt aan sorptie voor de bodem wordt meegenomen als organisch P.
- Rubæk & Sibbensen, 6M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, eveneens een verschilbepaling.

In een incubatieproef met Nederlandse gronden werd geen correlatie gevonden tussen N-min en P-org (waarbij de laatste bepaald werd met Kuo, Lepelaar & Schoumans en Rubæk & Sibbensen) (Ehlert, niet gepubliceerd). Tussen de drie methoden werd wel een correlatie gevonden. Mineralisatie van N en P blijken dus door verschillende processen gestuurd te worden. Echter, genoemde methoden blijken geen onderscheid te kunnen maken tussen 'aan-organische-stof-gebonden-(anorganisch)-P' en 'onderdeel-van-organisch-materiaal-uitmakend-(organisch)-P'. Het is daarom met de huidige analysemethoden zeer lastig onderscheid te maken tussen fosfor dat vrijkomt door verademing van organische stof en fosfor die op een andere manier aan organische stof gebonden is.

### Fosfatasen

Fosfatase is een verzamelnaam voor een groep enzymen die esters en fosforzuren hydrolyseren. Zure en basische fosfatase, die in dit onderzoek bepaald zijn, behoren tot de groep van fosformono-esterasen. Deze enzymen zijn substraat specifiek en hebben een verschillend pH-optimum.

Vooraf bij lage fosfaatbeschikbaarheid neemt de productie van deze enzymen toe. (Schinner *et al.*, 1993). Zowel plantenwortels als micro-organismen produceren fosfatasen. Fosfatasen van microbiële oorsprong komen in de bodem het meest voor (Schinner *et al.*, 1993), hoewel er aanwijzingen zijn dat zure fosfatase vooral van plantenwortels afkomstig is (Nannipieri *et al.* 2011). Fosfatasen lijken minder effectief wanneer organisch fosfaat gebonden is aan metalen, met name ijzer en aluminium (Helmke *et al.*, 2000).

Fosfatasen zijn onder andere in Zwitsers onderzoek gebruikt om verschillen tussen biologische en gangbare landbouwsystemen in kaart te brengen (bv. Mäder *et al.*, 2002; Keller *et al.*, 2012)

### C:P-verhoudingen in bodem, microbiële biomassa en gewas

Wanneer men er van uitgaat dat mineralisatie van bodemorganische stof gedreven wordt door stikstofbeschikbaarheid, kan men uitrekenen hoeveel fosfaat er vrijkomt na verademing van organische stof aan de hand van de C:P-verhouding van het substraat en van de microbiële biomassa. Hier worden enkele

getallen uit de literatuur genoemd die de basis vormen voor de berekeningen zoals beschreven in 2.3.3. Of bodems en de microbiële biomassa een vaste C:P-verhouding hebben, of beïnvloed kunnen worden door bijvoorbeeld het bemestingsregime is onderwerp van wetenschappelijk debat. Er zijn aanwijzingen dat de (molaire) C:N:P-verhouding van microbiële biomassa constant is binnen een brede range van bodem-nutriënten-ratio's (Griffiths et al., 2012). Onder gemaaid grasland vonden zij C:N:P-verhoudingen van 219:18:1 voor de bodem en 36:5:1 voor de microbiële biomassa.

Kirkby et al. (2011) onderzochten de C:N:P:S-verhoudingen van stabiele humus in verschillende Australische en andere bodems. Hoewel zeer hoge correlaties voor C, N en S werden gevonden, waren de correlaties tussen C en P en tussen C en OP minder sterk. Zij wijten dit onder andere aan de brede range in C:P-verhoudingen van de microbiële biomassa, zoals vastgesteld door Manzoni et al. (2010, 23-333:1 op massabasis). Echter, Manzoni et al. (2010) baseerden zich met name op ecosystemen en het is de vraag in hoeverre deze gegevens van toepassing zijn op akkerbouwsystemen. Voor de systemen van de DOK-trial vonden Keller et al. (2012) veel lagere waarden: een C:P-verhouding van de micro-organismen tussen de 8,3:1 en 9,8:1 (op massabasis). Ook He et al. (1997) vonden een grote variatie in C:P-verhouding van de microbiële biomassa: 9-276:1 (op massabasis). Zij lieten zien dat de C:P-verhouding van de microbiële biomassa kan worden beïnvloed door een langjarig bemestingsregime.

Iqbal (2009) vond C: P-ratio's tussen de 133:1 en 253:1 in jonge bovengrondse delen van canola, lupine, erwt, luzerne en linzen en tussen de 504:1 en 858:1 in oudere bovengrondse delen van canola, lupine, erwt en tarwe. White and Ayoub (1983) vonden C:P-ratio's van erwt tussen de 123:1 en 506:1. Enwezor rapporteerde C:P-ratio's van plantenresiduen tussen de 112:1 en 501:1.

## 2.3 Materialen en methoden

### 2.3.1 Effecten van bemesting op fosforhuishouding: veldexperimenten

Op het Mest Als Kans-proefveld wordt het effect van bemesting op bodemkwaliteit en gewas onderzocht, in dertien behandelingen met vier herhalingen. Het proefveld bevindt zich op een biologisch akkerbouwbedrijf aan de Bronsweg in Lelystad, op kalkrijke zavel. Een uitgebreide beschrijving van het MAK-proefveld is te vinden in Zanen et al. (2008) en Van Opheusden et al. (2012).

Voor dit project *Betere benutting van bodemfosfaat* zijn metingen uitgevoerd aan de objecten bemest met kippenmest, met natuurcompost en met NPK-kunstmest. De behandelingen waren sterk verschillend in de vorm (mineraal of organisch) waarin het fosfaat is aangebracht, maar verschilden ook enigszins in hoeveelheden aangevoerde organische stof, stikstof aan fosfaat (Tabel 1).

Tabel 1. **Gemiddelde gemeten aanvoer van organische stof, stikstof en fosfaat (kg ha<sup>-1</sup>) voor drie behandelingen in de periode 1999-2012. In 2002, 2004, 2007 en 2010 is het proefveld niet bemest, deze jaren zijn niet meegeteld in het berekenen van het gemiddelde.**

Behandeling	Organische stof	N-totaal	N-mineraal	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
NPK	0	99,1	99,1	82,6
Kippenmest	2328	132,8	73,0	108,8
VAM natuurcompost	8841	246,1	36,9	106,8

Op 26 maart 2012 werd het proefveld bemest. Na de bemesting werd de groenbemester rogge ondergewerkt en het veld omgeploegd. Begin mei werden de aardappels (ras: Agria) gepoot in rijen op een afstand van 75 cm. Begin juli werd het loof gedood. Op 11 juli werden de aardappels voor de proef geoogst, kort voor de oogst door de agrariër. De oogstmethode en de resultaten zijn beschreven door Rietberg en Van der Burgt (2012).

Op 23 mei 2012 werden bodemonsters genomen. Met een guts werden, per plotje, 30 monsters gestoken op een diepte van 0-30 cm. door schuin in de aardappelrug te steken. Deze werden samengevoegd tot één mengmonster per plot. Deze monsters zijn geanalyseerd door CBCL op pH, organische stof (gloeiverlies), koolstof, P-totaal, P<sub>w</sub>, P-Al, P-CaCl<sub>2</sub>, P, Fe- en Al-oxalaat. De oxalaatbepalingen werden gebruikt om de P-verzadiging van de bemonsterde bodemlaag te berekenen: een maat voor de fractie van de fosforadsorptiecapaciteit van de bodem die is verzadigd met fosfor, volgens de formule:

$$P\text{-verzadiging} = 100\% \cdot \frac{P_{\text{oxalaat}}}{(0.5 \cdot Fe_{\text{oxalaat}} + Al_{\text{oxalaat}})}$$

### 2.3.2 Analysemethoden van organisch fosfor

Op 23 juli zijn wederom bodemonsters genomen. Hierin is zure fosfatase bepaald bij een pH van 6,5 bij het CBLB volgens de methode van Shaw en Burns (2006).

In 2013 is organisch fosfaat bepaald in de monsters van 2012 door het CBLB volgens de methode van Kuo. Hiervoor werd de verhouding P-organisch/P-totaal berekend, met behulp van de P-totaal bepaald met de Kuo-methode. De methode van Kuo bleek gemakkelijk uit te voeren, kwam hoog uit (qua absolute waarden) en was relatief goedkoop. Omdat er in Nederland geen andere laboratoria zijn die organisch P bepalen dan het CBLB, is besloten deze methode te gebruiken in dit onderzoek.

Organisch fosfor in de bodem is daarnaast op twee manieren berekend: ten eerste als het verschil tussen de totale hoeveelheid fosfor en de fractie gebonden aan ijzer- en aluminium, en op basis van het koolstofgehalte. Daarbij werd aangenomen dat de verhouding koolstof: fosfor in organische stof 110:1 is (Black and Goring, 1953, in: Dalal, 1977). De verhouding P-organisch/P-totaal is op basis van deze inschatting berekend, met behulp van P-totaal bepaald zoals beschreven in 2.3.1.

### 2.3.3 Vrijkomen van fosfor door mineralisatie van organisch materiaal: modelberekening

De potentiële bijdrage van mineralisatie van fosfor door afbraak van organisch materiaal aan de P-voorziening van het gewas bij drie behandelingen van MAK is ingeschat met behulp van NDICEA en literatuurgegevens.

Kenmerken van de gewassen, de bemesting, de bodem en het weer zijn gebruikt om de drie behandelingen van MAK te simuleren met NDICEA, een dynamisch decompositie- en N-mineralisatiemodel op veldschaal (Van der Burgt et al., 2006). Met NDICEA is de afbraak van verschillende bronnen organische stof gesimuleerd: bodemorganische stof, mest, gewasresten en groenbemesters. Deze hoeveelheden zijn gebruikt om een inschatting te maken van de hoeveelheid organisch P die daarbij vrijkomt dan wel in de microbiële biomassa wordt opgenomen, met behulp van de C:P-verhouding van de verschillende bronnen organische stof.

De C:P-verhouding van bodem-organische-stof werden berekend op basis van C-elementair en organisch P (bepaald met de KUO-methode), en als het verschil tussen P-totaal en P-oxalaat. De organische stof:P-verhouding voor mest werd berekend aan de hand van jaarlijks toegevoegde hoeveelheid organische stof en  $P_2O_5$  en omgerekend naar P. Voor de C:P-verhouding van groenbemesters en gewasresten werden aannames gedaan op basis van literatuurgegevens (zie 2.2.2).

Door de berekeningen een aantal keer te herhalen met verschillende aannames werd een inschatting gemaakt van de waarschijnlijke minimale en maximale hoeveelheid P die bij verademing van organische stof vrijkomt en in microbiële biomassa wordt opgenomen. Voor elk van de behandelingen werden zo zes scenario's doorgerekend (Tabel 2).

De hoeveelheid P die vrijkomt is berekend op basis van de hoeveelheid gemineraliseerde organische stof uit verschillende fracties zoals gesimuleerd met NDICEA volgens deze formules:

$P_{\min, \text{bron } x} \text{ (kg ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}) = \text{Organische stof}_{\min, \text{bron } x} \text{ (kg ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}) * 0,58 * P:C\text{-verhouding}_{\text{bron } x}$   
voor bodemorganischestof, gewasresten en groenbemesters en

$P_{\min, \text{mest}} \text{ (kg ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}) = \text{Organische stof}_{\min, \text{mest}} \text{ (kg ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}) * 0,58 * P:OS\text{-verhouding}_{\text{mest}}$   
voor mest.

Bij deze berekening zijn we uitgegaan van mineralisatie van organische stof op basis van N-limitatie, waarbij de afbraak gestuurd wordt door de C:N-verhouding. Onder condities met lage fosforbeschikbaarheid kan de C:P verhouding de afbraaksnelheid van organische stof bepalen (zoals aangetoond voor wetlands, Qualls & Richardson, 2000). Het op deze manier dynamisch berekenen van de mogelijke P-mineralisatie door NDICEA waarbij, N door P gesubstitueerd wordt en de C:P verhouding de afbraaksnelheid bepaalt, is praktisch niet snel uitvoerbaar doordat voor de C:N-verhouding van de microbiële biomassa alleen waarden tussen 5 en 10 ingevoerd kunnen worden in NDICEA. Dit is geen realistische weergave van de C:P-verhouding van de microbiële biomassa. Daarnaast is de fosforbeschikbaarheid op het onderzochte proefveld ruim voldoende tot hoog (zie 2.4.1), waardoor het waarschijnlijk is dat stikstof inderdaad de limiterende factor is voor de afbraak.



Tabel 2. **C:P-verhouding voor bodemorganische stof, gewasresten en groenbemesters en OS:P-verhouding voor mest gebruikt voor de berekeningen van fosfor die vrijkomt en in microbiële biomassa wordt opgenomen bij verademing van organische stof. Getallen voor bodemorganische stof en mest zijn berekend, getallen voor gewasresten en groenbemesters zijn aangenomen op basis van literatuur.**

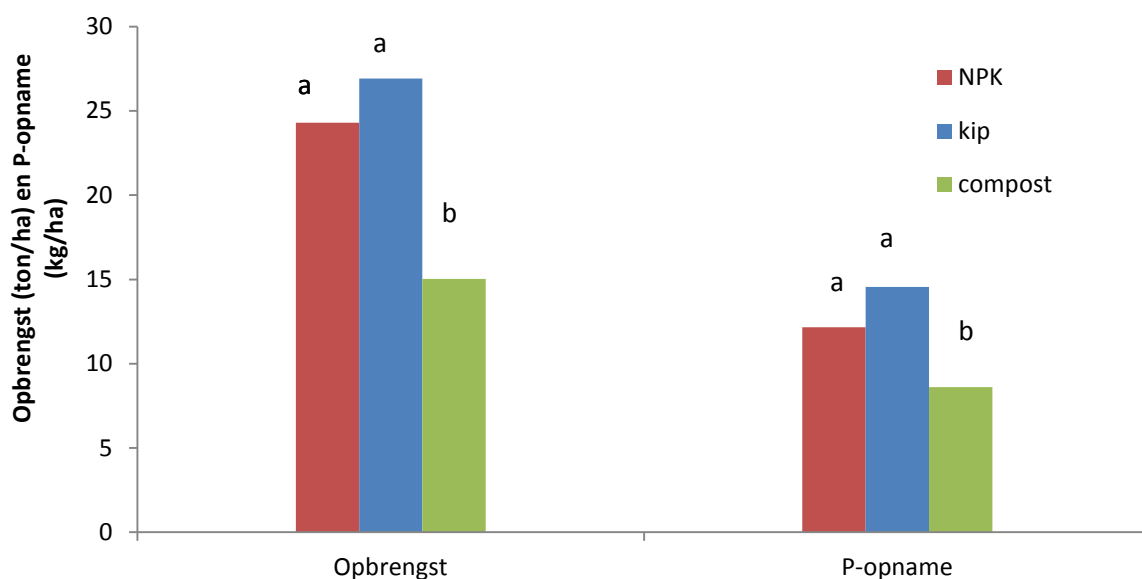
Scenario	Bodemorganische stof	Mest	Gewasresten	Groenbemesters
<b>NPK1</b>	19	n.v.t	100	100
<b>Kip1</b>	20	49	100	100
<b>Compost1</b>	24	189	100	100
<b>NPK2</b>	47	n.v.t	100	100
<b>Kip2</b>	47	49	100	100
<b>Compost2</b>	54	189	100	100
<b>NPK3</b>	19	n.v.t	300	300
<b>Kip3</b>	20	49	300	300
<b>Compost3</b>	24	189	300	300
<b>NPK4</b>	47	n.v.t	300	300
<b>Kip4</b>	47	49	300	300
<b>Compost4</b>	54	189	300	300
<b>NPK5</b>	19	n.v.t	800	800
<b>Kip5</b>	20	49	800	800
<b>Compost5</b>	24	189	800	800
<b>NPK6</b>	47	n.v.t	800	800
<b>Kip6</b>	47	49	800	800
<b>Compost6</b>	54	189	800	800

## 2.4 Resultaten

### 2.4.1 Effecten van bemesting op fosforhuishouding

#### *Fosfaatopname door het gewas*

De aardappelopbrengst in 2013 was lager in de behandeling met compost dan in de behandelingen met NPK en kippenmest (Figuur 2). Het P-gehalte van de knollen behandeld met NPK ( $2.6 \text{ g kg}^{-1}$ ) leek iets lager te zijn dan van de andere behandelingen ( $2.9 \text{ g kg}^{-1}$ ) maar dit verschil was niet significant ( $P=0.29$ ). Ook het droge stofgehalte (19,3; 19,15; 20,8) verschilde niet tussen de behandelingen. De verschillen in P-opname door het gewas reflecteren het verschil in opbrengst.



Figuur 2. **Opbrengst en P-opname van drie behandelingen van MAK. Kolommen met verschillende letters verschillen significant van elkaar ( $\alpha=0,05$ ).**

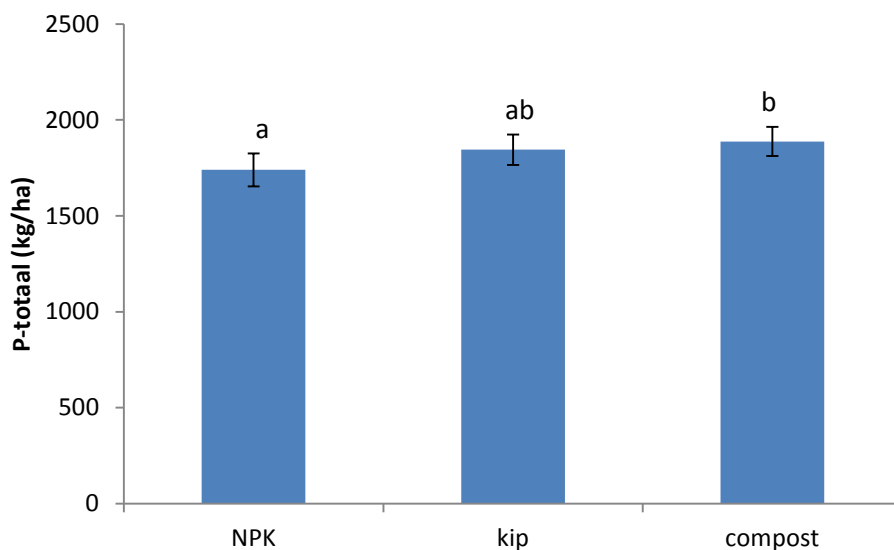
*Bodemanalyse: minerale pools & fractionering van fosfor*

Tabel 3 toont de significante verschillen in de bodemmetingen tussen de behandelingen. Er zat meer fosfor in de bodem in de objecten met compost dan in de objecten met kunstmest. De objecten met kippenmest verschilden niet van beide andere behandelingen (Figuur 3).

Tabel 3. **Resultaten van de variantie analyse voor de drie behandelingen in het MAK-proefveld, n=4.**

<i>Grootheid</i>	<i>P-waarde</i>
pH	<,001
Organische stof	<,001
Koolstof	<,001
P-totaal	0,029
P-CaCl <sub>2</sub>	0,069
P-Al	0,248
Fe-oxalaat	0,198
Al-oxalaat	0,003
P-oxalaat	0,367
P-verzadigingsgraad	0,033
Pw	0,044
Zurefosfatase-activiteit	0,873

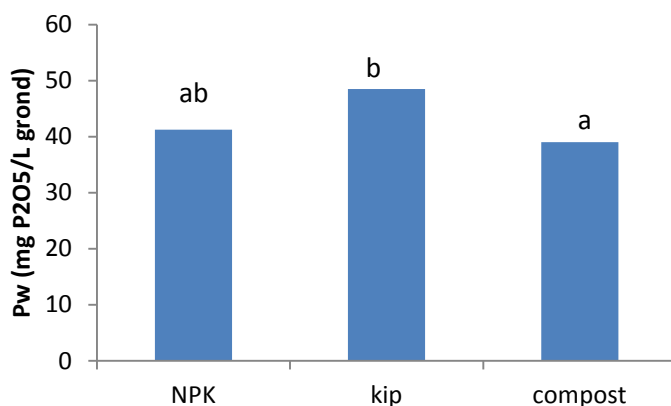
### 2.4.2 P-totaal



Figuur 3. **P-totaal bij drie behandelingen van MAK. Kolommen met verschillende letters verschilden significant van elkaar ( $\alpha=0,05$ ). Foutenbalken: standaarddeviatie (dus hele balk is twee keer de standaarddeviatie)**

#### *Beschikbaar fosfaat: $P_w$ , $P-CaCl_2$ & $P-Al$*

De  $P_w$  was het hoogst in de behandelingen met kippenmest en significant lager in de behandelingen met compost (Figuur 4). De NPK behandeling verschildte niet significant van beide andere behandelingen. De waarde voor  $P-CaCl_2$  leek hoger in de behandeling met kippenmest (2,27) dan in de andere twee behandelingen maar het verschil was niet significant ( $p=0,067$ ). De standaarddeviatie in de bepalingen van  $P-CaCl_2$  was hoog: >14% van het gemiddelde bij alle drie de behandelingen. Ook  $P-Al$  verschildte niet tussen de behandelingen (Tabel 3).



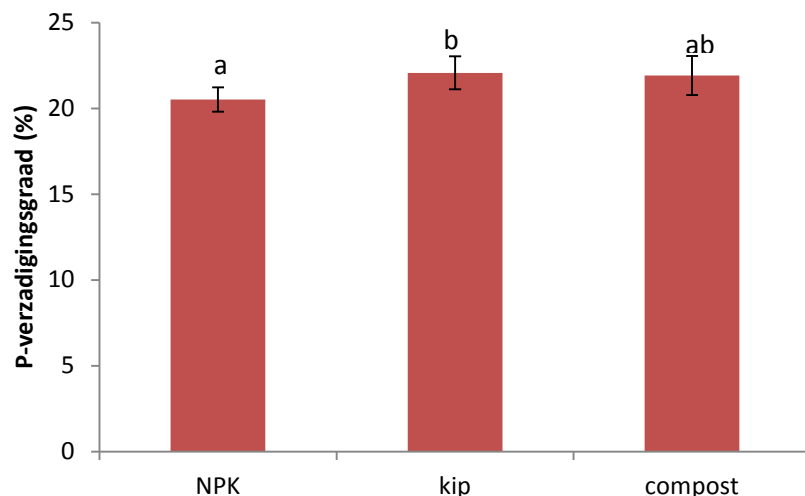
Figuur 4.  **$P_w$  in drie verschillende behandelingen in MAK. Kolommen met verschillende letters verschilden significant van elkaar ( $\alpha=0,05$ ).**

#### *Oxalaten en fosfaatverzadiging*

De fosfaatverzadigingsgraad was lager in de behandeling met NPK dan in de behandeling met kippenmest (Figuur 5). In alle gevallen lag de fosfaatverzadiging voor het bemonsterde gedeelte van de bodem onder de 25%, wat vaak de kritieke fosfaatverzadiging wordt genoemd.

De behandeling met compost bevatte meer aluminiumoxalaten ( $1008 \text{ kg ha}^{-1}$ ) dan de behandelingen met kippenmest ( $958 \text{ kg ha}^{-1}$ ) of NPK ( $969 \text{ kg ha}^{-1}$ ) ( $p=0.003$ ). De bodem bevatte rond de  $7900 \text{ kg ha}^{-1}$

ijzeroxalaten. Er zat geen verschil in ijzer- en fosforoxalaten tussen de behandelingen.

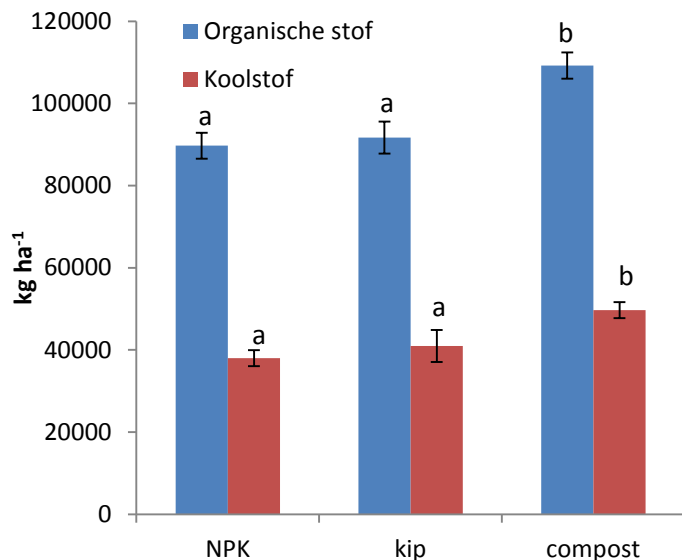


Figuur 5. Fosfaatverzadigingsgraad (berekend op basis van ijzer en aluminium-oxalaten). Verschillende letters geven significante verschillen weer,  $p=0.033$ .

### Bodemanalyse: organische pools & fosfatase-activiteit

#### *Organische fosfaat, organische stof en koolstof*

Het organische stofgehalte en het koolstofgehalte waren hoger in de behandeling met natuurcompost dan in de behandelingen met kunstmest en kippenmest (Fig. 6).



Figuur 6. Organische stof en organisch koolstof in verschillende behandelingen van MAK. Kolommen met verschillende letters verschillen significant van elkaar ( $\alpha=0,05$ ).

In Tabel 4 staat een inschatting van de hoeveelheid organisch gebonden fosfaat in de verschillende behandelingen, ingeschat volgens twee methoden en gemeten met de KUO-methode. De berekende hoeveelheid organisch fosfaat varieerde nauwelijks voor de verschillende behandelingen. Organisch fosfor leek hoger te zijn in de behandeling met VAM dan in de andere twee behandelingen. Voor de berekening op basis van een vaste C:P-verhouding is dit een logisch gevolg van verschillen in koolstofgehalte. Voor de berekening op basis van P-totaal en P-oxalaat was dit verschil net niet significant ( $p=0.065$ ) en voor de Kuo-

methode helemaal niet.

De inschatting op basis van P-totaal en P-oxalaat levert het hoogste gehalte P-organisch op: 811-922 kg ha<sup>-1</sup>, bijna de helft van de totale hoeveelheid fosfaat. Een berekening op basis van C-elementair en een C:P-verhouding van 110:1 levert bijna de helft op: 346-452 kg P ha<sup>-1</sup>, een vijfde van de totale hoeveelheid P in de bodem. Dat is nog iets meer dan P-organisch volgens de KUO-methode: 212-252 kg P ha<sup>-1</sup> (Tabel 4). Metingen van het organisch fosfaat met de KUO methode geven wat lagere uitslagen dan de eerste inschatting met de berekeningen: 220 tot 252 kg P in de organische stof per ha.

Tabel 4. **Organisch fosfaat, berekend volgens twee verschillende methoden en gemeten met de KUO-methode, in drie behandelingen van MAK. De standaardfout van het gemiddelde staat tussen haken.**

Methode	C:P-verhouding 110:1				P-totaal-P-oxalaat		KUO			
Behandeling	P-tot (kg ha <sup>-1</sup> )	Koolstof (kg ha <sup>-1</sup> )	P in org. stof (kg ha <sup>-1</sup> )	P- org./P- tot. (%)	P-tot. – P-ox (kg ha <sup>-1</sup> )	P- org./P- tot. (%)	P-org (kg P ha <sup>-1</sup> )	P-anorg (kg P ha <sup>-1</sup> )	P- totaal (kg P ha <sup>-1</sup> )	P- org./P- tot. (%)
<b>NPK</b>	1739	38025	346a	20	811	47	220 (31)	1362 (19)	1581 (40)	13,8
<b>Kip</b>	1845	40950	372a	20	880	48	212 (16)	1397 (36)	1609 (25)	13,2
<b>natuurcompost</b>	1888	49725	452b	24	922	49	252 (22)	1360 (18)	1612 (29)	15,6

#### *pH en fosfatase-activiteit*

Op het proefveld MAK is alleen de zure fosfatase-activiteit gemeten. De zure fosfatase-activiteit was 8,55 mg g<sup>-1</sup> uur<sup>-1</sup> in de behandelingen met kunstmest en 8,37 mg g<sup>-1</sup> uur<sup>-1</sup> in de behandelingen met natuurcompost. Er zat geen significant verschil tussen beide behandelingen. De standaarddeviatie in de metingen was hoog: 20% voor de behandeling met NPK en 11% voor de behandeling met natuurcompost. Er leek een positieve correlatie te bestaan tussen zure fosfatase-activiteit en P-AI ( $r^2=0,59$ ). Er werden geen duidelijke verbanden gevonden met één van de overige bodemparameters, noch met de fosfaatopname door het gewas. De pH was 7,72 in de behandeling met natuurcompost, 7,75 in de behandeling met kippenmest en 7,78 in de behandeling met kunstmest.

### 2.4.3 Mineralisatie van fosfor uit organische stof

De resultaten van de berekening staan in Tabel 5. In de kunstmestbehandeling kwam zo'n 7 tot 21 kg P ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> vrij uit mineralisatie van organisch materiaal. In de behandelingen met kippenmest en natuurcompost bevatte het gemineraliseerde organisch materiaal zo'n 31 tot 49 kg P ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> en 23 tot 40 kg P ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> dat mineraliseerde.

Het blijkt dat mineralisatie uit mest en uit de bodemorganische stof die door de mest is opgebouwd de belangrijkste bijdrage levert aan de P die uit organisch materiaal vrijkomt. Hierop volgen bodemorganische stof en gewasresten, die kleinere bijdragen leveren. De bijdrage van groenbemesters is verwaarloosbaar. De bijdrage van verademing van organische stof aan het beschikbaar komen van fosfaat hangt sterk af van de C:P-verhouding van de organische stof: wanneer wordt uitgegaan van de KUO-methode, is die bijdrage zo'n 5 kg ha jaar, terwijl de bijdrage rond de 15 kg ligt wanneer wordt uitgegaan van de berekening P-totaal-P-oxalaat. Dit geldt ook voor de bijdrage van de gewasresten. Bij een C:P-verhouding van 100:1 leveren de gewasresten een potentiële bijdrage van 7-9 kg, terwijl die bijdrage bij een C:P-verhouding van 800:1 verwaarloosbaar is.

Gemineraliseerd organisch fosfor levert potentieel tussen de 18 en 107% van de fosfor nodig voor de plant voor NPK, uitgaande van een gewasbehoefte van 20 kg ha<sup>-1</sup> en 40 kg ha<sup>-1</sup>. Voor kippenmest is dit 78 tot 247%, voor compost (Tabel 6).

Tabel 5. **Hoeveelheid P in afgebroken organische stof in kg ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>, gemiddeld over 13 jaar. Voor beschrijving van de scenario's zie tekst en 2.3.3**

<i>Scenario</i>	<i>Bodem- organischestof</i>	<i>Mest</i>	<i>Gewasresten</i>	<i>Groen- bemesters</i>	<i>Totaal</i>
<b>NPK1</b>	4,5		7,3	0,5	<b>12</b>
<b>Kip1</b>	4,6	25,4	8,5	0,5	<b>39</b>
<b>Compost1</b>	5,1	16,9	7,9	0,5	<b>30</b>
<b>NPK2</b>	13,7		7,3	0,5	<b>22</b>
<b>Kip2</b>	14,9	25,4	8,5	0,5	<b>49</b>
<b>Compost2</b>	14,7	16,9	7,9	0,5	<b>40</b>
<b>NPK3</b>	4,5		2,4	0,2	<b>7</b>
<b>Kip3</b>	4,6	25,4	2,8	0,2	<b>33</b>
<b>Compost3</b>	5,1	16,9	2,6	0,2	<b>25</b>
<b>NPK4</b>	13,7		2,4	0,2	<b>16</b>
<b>Kip4</b>	14,9	25,4	2,8	0,2	<b>43</b>
<b>Compost4</b>	14,7	16,9	2,6	0,2	<b>35</b>
<b>NPK5</b>	4,5		0,9	0,1	<b>6</b>
<b>Kip5</b>	4,6	25,4	1,1	0,1	<b>31</b>
<b>Compost5</b>	5,1	16,9	1,0	0,1	<b>23</b>
<b>NPK6</b>	13,7		0,9	0,1	<b>15</b>
<b>Kip6</b>	14,9	25,4	1,1	0,1	<b>42</b>
<b>Compost6</b>	14,7	16,9	1,0	0,1	<b>33</b>

Tabel 6. **Potentiële procentuele bijdrage uit organische bronnen gemineraliseerde fosfor aan de gewasvoorziening voor de verschillende scenario's, uitgaande van een gewasbehoefte van 20 en 40 kg P ha<sup>-1</sup>.**

<i>Scenario</i>	<i>Totaal (kg P ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>)</i>	<i>Potentiële bijdrage gewasopname 20 kg P ha<sup>-1</sup> (%)</i>	<i>Potentiële bijdrage gewasopname 40 kg P ha<sup>-1</sup> (%)</i>
<b>NPK1</b>	<b>12</b>	61	31
<b>Kip1</b>	<b>39</b>	195	98
<b>Compost1</b>	<b>30</b>	152	76
<b>NPK2</b>	<b>22</b>	107	54
<b>Kip2</b>	<b>49</b>	247	123
<b>Compost2</b>	<b>40</b>	200	100
<b>NPK3</b>	<b>7</b>	35	18
<b>Kip3</b>	<b>33</b>	165	82
<b>Compost3</b>	<b>25</b>	124	62
<b>NPK4</b>	<b>16</b>	81	41
<b>Kip4</b>	<b>43</b>	217	108
<b>Compost4</b>	<b>35</b>	172	86
<b>NPK5</b>	<b>6</b>	27	14
<b>Kip5</b>	<b>31</b>	156	78
<b>Compost5</b>	<b>23</b>	115	58
<b>NPK6</b>	<b>15</b>	73	37
<b>Kip6</b>	<b>42</b>	207	104
<b>Compost6</b>	<b>33</b>	164	82

## 2.5 Discussie & conclusie

### 2.5.1 Effecten van bemesting op fosforhuishouding

Jarenlange verschillen in aanvoer van bemesting (NPK, kippenmest en compost) hebben slechts tot kleine verschillen in bodem-P-status geleid. Tussen de behandelingen werden geen significante verschillen

waargenomen in P-CaCl<sub>2</sub>, P-AL, P-oxalaat, P-PAE en P-organisch (bepaald met Kuo-methode). Gemiddeld is jaarlijks ruim 25 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> méér gegeven in de behandelingen met compost en kippenmest dan in de behandeling met NPK. Dit is in overeenstemming met het hogere P-totaal-gehalte wat werd waargenomen bij de behandeling met compost ten opzichte van de behandeling met NPK. In de behandeling met kippenmest is, door de hogere gewasopbrengsten, meer P opgenomen dan bij compost, wat er wellicht de reden is dat P-totaal in deze behandeling niet significant verschilde van P-totaal bij NPK of compost.

Het is opmerkelijk dat de beschikbaarheid van P (gemeten als P-AL, P-PAE of P<sub>w</sub>) niet significant verschilde tussen NPK en compost. Ook tussen de behandelingen met compost en kippenmest en tussen kippenmest en NPK werden verder geen verschillen waargenomen, met uitzondering van de P-verzadiging: die was 1,5% hoger in de behandeling met kippenmest dan met NPK.

De hogere P<sub>w</sub> in de behandeling met kippenmest dan met NPK en compost is te relateren aan de bemesting van het jaar waarin gemeten werd: respectievelijk 94, 83 en 61 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> voor kippenmest, NPK en compost. P<sub>w</sub> is een labiele fractie die snel op bemesting kan reageren.

Het gehalte aan fosfaat in de aardappelknollen (gewas in 2013) lag tussen de 0,6 en 0,66% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> voor de verschillende behandelingen. Dit is net iets hoger dan de default waarde voor aardappelknollen in Ndicea (0,59%). Dit duidt er op dat fosfaat niet limiterend was voor de groei van de plant. De totale fosfaatopname was lager in de behandeling met compost dan in de behandelingen met kippenmest en NPK door de lagere opbrengst in de behandeling met compost.

Agronomisch lijken de verschillen in P-totaal, P<sub>w</sub> en P-verzadiging weinig relevant. De resultaten wijzen vooral op een beperkte invloed van het type bemesting op de bodemvoorraad fosfaat en de verdeling van fosfaat over de verschillende fracties. Bodemtype, grondbewerking en vruchtwisseling hebben wellicht een minstens zo grote of grotere invloed.

## 2.5.2 Aandeel organisch (gebonden) fosfor

Organisch fosfor maakt volgens de schattingen en metingen, tussen de 10 en 49% van het totale bodemfosfor uit (Tabel 4), dat is tussen de 212 en 922 kg ha<sup>-1</sup>. Met de Kuo-bepalingen werd een aandeel van 10-13% van P-totaal gevonden. Dit duidt op een hogere C:P-verhouding dan 110:1 zoals gevonden door Black en Goring (1953). De berekening P-totaal-P-oxalaat levert waarschijnlijk een overschatting van het aandeel organisch gebonden fosfaat op, omdat bijvoorbeeld anorganisch calciumfosfaat niet wordt gemeten in de oxalaatextractie en zo ten onrechte als organisch fosfor gerekend wordt. Gezien de hoge pH en het hoge kalkgehalte van de bodem is het aannemelijk dat een gedeelte van het fosfaat als calciumfosfaat gebonden is. Het inschatten van de hoeveelheid organisch fosfaat wordt bemoeilijkt doordat er geen betrouwbare methode is om in te schatten hoeveel fosfor onderdeel uitmaakt van de organische stof en hoeveel (anorganisch) fosfor geadsorbéerd is aan organische stof.

De berekeningen wijzen op een hoger organisch-P-gehalte in de behandeling met VAM-compost dan in de behandelingen met kippenmest en NPK, in overeenstemming met het hogere organisch fosfor-gehalte. Echter uit de metingen kwamen geen verschillen tussen organisch fosfor naar voren tussen de behandelingen: het type bemesting lijkt dus geen invloed te hebben op het aandeel organisch fosfor. Dit is in overeenstemming met Reddy et al. (2000), die vonden dat zowel organische mest als anorganische mest organisch fosfor helpen opbouwen. Mogelijk heeft het bodemorganischestof in de behandeling met VAM-compost een andere samenstelling (een lager P-gehalte) dan in de andere behandelingen.

## 2.5.3 Mineralisatie van fosfor uit organische bronnen

### *Fosfatase-activiteit*

De fosfatase-waarden gevonden in MAK zijn tien tot honderd keer zo hoog als wat in de literatuur vermeld wordt. Dit zou kunnen duiden op een zeer lage beschikbaarheid van anorganisch fosfor. Echter, de P<sub>w</sub>-waarden (tussen 35 en 57 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup>) zijn ruim voldoende tot vrij hoog (de Haan & van Geel, 2013), en er werd geen relatie gevonden tussen P<sub>w</sub> en zure-fosfatase-activiteit. Bovendien duidt het fosforgehalte van de plant erop dat het gewas geen fosfortekort heeft ervaren.

Er zijn aanwijzingen dat zure fosfatase vooral van plantenwortels afkomstig is, en de voedingsstatus van de plant reflecteert (Nannipieri et al., 2011). Er werden geen verschillen in fosforinhoud van het gewas

gevonden tussen behandelingen, wat erop kan wijzen dat de voedingsstatus van de plant met betrekking tot fosfaat niet verschilt (– hoewel de vergelijking lastig is vanwege de lage opbrengst van het gewas in de behandeling met natuurcompost). Vanuit dat perspectief is het logisch dat er geen verschillen in zure fosfatase-activiteit werden gevonden tussen de behandelingen – maar kunnen de hoge waarden nog niet worden verklaard.

De positieve correlatie tussen zure fosfatase en P-Al is in overeenstemming met de bevindingen van Helmke et al. (2000). Zij beschreven verminderde effectiviteit van fosfatase bij binding van fosfor aan metalen, met name ijzer en aluminium. Een verhoogde activiteit zou deze verminderde effectiviteit kunnen compenseren. De resultaten op MAK geven weinig aanleiding om aan te nemen dat er een duidelijke relatie is tussen zure fosfatase-activiteit en afbraak van organische stof. Bovendien is er geen mogelijkheid om de fosfatase-activiteit om te rekenen naar een hoeveelheid organisch fosfor die gemineraliseerd wordt. Daarmee lijkt zure fosfatase-activiteit geen geschikte indicator voor de hoeveelheid organisch fosfor die wordt vrijgemaakt.

#### *Modelberekeningen van fosfor-mineralisatie*

De berekeningen laten zien dat de fosfor die potentieel beschikbaar komt door de afbraak van organisch materiaal tussen de 30 en 40 kg P ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> ligt voor VAM-natuurcompost, tussen de 31 en 49 kg P ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> voor kippenmest en tussen de 6 en 15 kg P ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> voor NPK (Tabel 5). Gewassen nemen zo'n 20 tot 40 kg P ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> op: de hoeveelheid die beschikbaar komt is voldoende voor de gewasvoorziening bij beide behandelingen met organisch materiaal (kippenmest en compost) wanneer wordt uitgegaan van een gewasbehoefte van 20 kg P ha<sup>-1</sup>, en het is voldoende voor een aanzienlijke bijdrage kan leveren wanneer wordt uitgegaan van een gewasbehoefte van 40 kg P ha<sup>-1</sup>. De fosfor die potentieel vrijkomt in de kunstmestbehandeling, is beperkter (14-107% van de gewasbehoefte, afhankelijk van de aannamen (Tabel 6). Deze berekeningen laten zien dat bemestingsstrategie van invloed is op de mineralisatie van fosfor uit organische bronnen: de bemestingsregimes met organische mest zorgen voor een grotere mineralisatie van fosfor uit het organisch materiaal in de grond.

De verschillen tussen de behandelingen worden met name veroorzaakt door mineralisatie van (oude) mest en compost, en in mindere mate door de hogere bijdrage van gewasresten door hogere gewasopbrengsten (dit laatste zal echter een minder grote rol spelen in praktijksituaties waar grotere hoeveelheden kunstmest worden gebruikt dan op het MAK-proefveld). Het gebruik van dierlijke mest en compost kan daarmee een strategie zijn om bij te dragen aan de fosforvoorziening van het gewas op lange termijn.

Ndicea is een multi-component-model, en blijft mest en compost als zodanig beschouwen – al kan wat er nog over is van mest of compost die tien jaar geleden zijn toegevoegd, inmiddels beschouwd worden als bodemorganische stof. De bijdrage van mineralisatie van oude mest en compost zoals hier berekend is dus deels een bijdrage van opgebouwde bodemorganische stof. De bijdrage van mineralisatie van bodemorganisch stof (al aanwezig bij de start van het experiment) aan de fosforvoorziening verschilt nauwelijks tussen de behandelingen, in overeenstemming met de gehalten aan organisch fosfor.

De bijdrage van groenbemesters aan de P-voorziening is verwaarloosbaar, wat ook gerelateerd kan zijn aan de relatief slechte opkomst van groenbemester in een aantal jaren van de MAK-proef. Deze bevindingen zijn in overeenstemming met de conclusie van Enwezor (1976), die immobilisatie van P beschrijft na het telen van groenbemesters van verschillende C:P-raties.

Er is gerekend met twaalfjarige gemiddelden. De bijdrage van organische stof en mest is bij de behandelingen met compost waarschijnlijk lager in het begin van het experiment en hoger in latere jaren. Voor NPK en kippenmest zal, gezien de negatieve organische stofbalansen en het dalende organische stofgehalte, het omgekeerde gelden.

De gemineraliseerde fosfor is echter niet allemaal beschikbaar voor opname in de plant: een deel wordt geïncorporeerd in microbiële biomassa, en een deel zal zich weer hechten aan het klei-humuscomplex. Wat werkelijk beschikbaar komt voor planten hangt af van de incorporatie in microbiële biomassa, en dus van de C:P-verhouding van de micro-organismen en de microbiële efficiëntie. De samenstelling en de grootte en



activiteit van de microbiële gemeenschap is mogelijk beïnvloed door de verschillende behandelingen, wat mogelijk ook het vrijkomen van P bij verademing van organisch materiaal beïnvloedt. Bovendien hangt de hoeveelheid fosfor die voor plantopname beschikbaar komt, af van de fysieke aanwezigheid van wortels in de nabijheid van de gemineraliseerde fosfor. Deze modelberekening biedt een grove inschatting van de mogelijke bijdrage van organische bronnen aan de fosforvoorziening voor het gewas maar houdt geen rekening met ruimtelijke heterogeniteit in de bodem, die juist vanwege de weinig mobiele aard van fosfor zeer belangrijk is.

De modelberekeningen aan de bemestingsregimes van MAK laten zien dat de behandelingen met organische mest (VAM-compost en kippenmest) leiden tot een grotere mineralisatie van fosfor uit het organische materiaal in de grond (m.n. recent historische en opgebrachte mest) dan de behandeling met kunstmest. In de verschillende metingen aan bodemfosfor komt dit echter niet duidelijk naar voren. Het gebruik van VAM-compost leidde tot een hoger organische stofgehalte en een hoger P-totaal-gehalte, maar alleen uit de berekening op basis van een vaste C:P-verhouding van de organische stof volgde een hoger organisch-P-gehalte.

De gebruikte meetmethoden zijn niet in staat om de flux van gemineraliseerd organisch fosfor te meten, en/of de modelberekeningen leveren een overschatting van de verschillen tussen de behandelingen op.



### 3 Telen bij lage fosforgehaltes: fosfordynamiek op twee biologische gemengde bedrijven

*Bart Timmermans & Petra Rietberg, Louis Bolk Instituut*

#### 3.1 Inleiding

Biologische bedrijven lopen voorop als het gaat om telen bij lage fosfor-inputs. Over de fosfordynamiek op deze bedrijven is echter weinig bekend. De noodzaak voor evenwichtsbemesting én de ervaringen op een aantal biologische bedrijven roepen agronomische vragen op: hoe is het mogelijk om bij lage fosfaatbemesting toch nog gewassen te telen? Hoe kan het in de bodem aanwezige fosfaat beschikbaar worden gemaakt voor de plant?

Het doel van dit onderzoek was om, ten eerste, biologische bedrijven te selecteren die telen bij lage externe aanvoer van fosfor en lage bodemfosforgehaltes, en ten tweede om inzicht te krijgen in de P-huishouding van twee gemengde bedrijven met zeer beperkte externe aanvoer van P.

In dit hoofdstuk wordt een antwoord gezocht op de volgende vragen:

1. In hoeverre zijn opbrengst en fosforgehalte duidelijk verlaagd op bedrijven met beperkte externe aanvoer van P en lage bodem-P-toestand?
2. Hoe is de bodemfosforstatus van praktijkbedrijven met sinds decennia beperkte externe aanvoer van fosfor?

2a. Hoe is de fosfaatbeschikbaarheid volgens chemische beschikbaarheidsbepalingen?

2b. Welk deel van het bodemfosfor is organisch gebonden?

2c. Welke verschillen zijn er met een gangbaar gemanaged bedrijf op dezelfde locatie?

3. Leidt jarenlange beperkte aanvoer van fosfaat tot het uitmijnen van de bodem?

Na selectie van twee bedrijven is vraag 1 onderzocht met behulp van interviews met telers en metingen aan bodem en gewas. Uitgebreide bodemanalyses gaven antwoord op vraag 2a en 2b. Vraag 2c en 3 zijn onderzocht door bodemonsters uit 1983 en 2013 van een biologisch-dynamisch bedrijf en een gangbaar nabijgelegen bedrijf te vergelijken.

#### 3.2 Materialen en methoden

In 2012 zijn twee gemengde biologische bedrijven geselecteerd waar geteeld wordt met zeer beperkte externe aanvoer van fosfor: Stadsboerderij Almere en de Zonnehoeve. De fosfordynamiek op deze bedrijven is geïnventariseerd aan de hand van interviews met de telers en bodem- en gewasmetingen.

Op 29 oktober 2012 werden Tom Saat van Stadsboerderij Almere en Piet van IJzendoorn van de Zonnehoeve gevraagd naar hun ervaringen met fosfaat in relatie tot bemesting, bodemanalyses en gewas. Ook werden op beide bedrijven op vier percelen bodemonsters genomen met een guts (mengmonsters van 30 steken op 0-30 cm. per perceel).

Deze monsters zijn geanalyseerd door CBCL op pH, organische stof (gloeiverlies), koolstof (Kurmies), P-totaal, Pw, P-Al, P-CaCl<sub>2</sub>, P, Fe- en Al-oxalaat, organisch fosfor (methode van Kuo). Organisch fosfor en P-verzadigingsgraad zijn berekend zoals beschreven in 2.3.2. Tevens zijn zure en alkaline fosfatase bepaald. Voor omrekeningen naar kg ha<sup>-1</sup> is uitgegaan van een dichtheid van 1,3 kg L<sup>-1</sup> en een bouwvoordikte van 30 cm.

In 2013 werden op vier percelen van de Zonnehoeve, een gangbaar buurperceel, en van vier percelen van de Stadsboerderij Almere eveneens bodemonsters genomen. Deze zijn door het CBLB geanalyseerd op koolstof (Kurmies en C-elementair), P-totaal, Pw, P-Al, P-CaCl<sub>2</sub> en organisch fosfor (methode van Kuo). Daarnaast zijn voor de Zonnehoeve en het gangbare buurperceel van de Zonnehoeve dezelfde analyses uitgevoerd op bodemonsters die zijn genomen in 1983, en destijds gedroogd en bewaard. De monsters uit 1983 en 2013 zijn met elkaar vergeleken.

Daarnaast werden monsters van het gewas genomen, die geanalyseerd werden op droge stof en P-gehalte door Altic laboratorium in Dronten. Opbrengstgegevens werden verkregen via de telers. Om een indruk te

krijgen van mogelijk P-gebrek werden de P-gehalten vergeleken met de (default) P-gehalten voor gewassen zoals die in het model NDICEA worden gebruikt. Voor de Zonnehoeve werd een P-balans voor de gewasrotatie op perceelniveau opgesteld met input via mest en compost als input en afvoer via gewassen als outputs. Voor de Stadsboerderij was het opstellen van een dergelijke balans niet mogelijk, omdat niet van alle gewassen in het bouwplan fosforgehaltes en opbrengstgegevens bekend waren.

GenStat 13.3 werd gebruikt voor statistische analyse van de resultaten. Resultaten zijn geanalyseerd met behulp van algemene variantie analyse ( $\alpha < 0.05$ ). Tuckey's test werd gebruikt als post-hoc test ( $\alpha < 0.05$ ). Verschillen tussen de praktijkbedrijven in 2013 zijn getest met een t-toets ( $\alpha < 0.05$ ), evenals verschillen tussen de Zonnehoeve en het gangbare buurperceel in 1983 en 2013.

## 3.3 Resultaten

### 3.3.1 Rotatie, en aanvoer en afvoer van fosfor

#### *Stadsboerderij Almere*

De rotatie van Stadsboerderij Almere is weergegeven in Tabel 7. Deze rotatie geldt in principe op het hele bedrijf, sinds ongeveer zestien jaar. Daarvoor was de grond van de Rijksdienst, die er luzerne en graan teelde en waarschijnlijk matig bemestte.

De rotatie bestaat zo'n 9 jaar (waarvan 3 jaar een vlinderbloemige) en bevat bemeste en onbemeste jaren. Gemiddeld wordt er zo'n 30 kg  $P_2O_5$  per ha per jaar (=13 kg P per ha per jaar) aangevoerd op de percelen (Tabel 7). Volgens teler Tom Saat "komt de bemesting niet zo nauw". Hij gebruikt vooral potstalmest van eigen vee, dat voornamelijk gevoerd wordt met voer van het eigen bedrijf. De mest zou een gemiddeld fosfaatgehalte van 2 kg  $P_2O_5$  per ton bevatten (niet gemeten). De fosfaat die daar in zit, komt voornamelijk uit de bodem. De teler verwacht dan ook een negatieve fosfaatbalans over het hele bedrijf.

De teler zegt nooit iets van een fosfaatgebrek te merken in het gewas. Ook niet in suikermaïs, wat veel fosfaat nodig heeft. Wel meent hij dat het al dan niet optreden van fosfaatgebrek afhangt van de vruchtwisseling: als er alleen aardappels en wortels worden geteeld, ontstaan op den duur wel gebreksverschijnselen. Met veel granen en luzerne gebeurt dat niet, verwacht hij, omdat beter wortelende gewassen fosfor beschikbaar maken.

Tabel 7. **De rotatie van de percelen aan de trekweg, Stadsboerderij Almere. Alle bemestingen vinden plaats met runderpotstalmest.**

Jaar	Gewas	Bemesting (ton ha <sup>-1</sup> )	P2O5-aanvoer (kg ha <sup>-1</sup> )
1	Grasklaver/Luzerne	Geen	
2	Grasklaver/Luzerne	Geen	
3	Ui/Sjalot	20	40
4	Peen	Geen	
5	Wintertarwe	15	30
6	Rode bieten	35	70
7	Erwten/bonen	Geen	
8	Spinazie/Pompoen	25	50
9	Kool	40	80
	Gemiddeld		30

Tabel 8. **P-gehalten, opbrengst, opname en afvoer van P voor gewassen van de percelen aan de Trekweg, Stadsboerderij Almere, geteeld in 2013.**

Gewas	P-gehalte product (g P kg DS <sup>-1</sup> )	P-gehalte rest (g P kg DS <sup>-1</sup> )	Opbrengst (kg DS ha <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	P-afvoer (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> )	P-opname (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> )
Plantui	2	0,5 <sup>1</sup>	5840	27	31
Wintertarwe	3,1	0,8	4718	33	39
Wintertarwe	3	1,1	4500	31	38
Wintertarwe	3,4	0,9	5310	41	48

<sup>1</sup>Dit gehalten is niet bepaald maar de NDICEA-defaultwaarden is gebruikt voor de berekening van de P-opname.

In 2012 en 2013 werden geen P-gebreken waargenomen in het gewas op de percelen aan de Trekweg. Desalniettemin lagen de fosforgehalten (Tabel 8) voor alle gewassen van de Stadsboerderij geteeld in 2013 meer dan 10% lager dan de defaultwaarden in NDICEA, behalve voor het stro van het graan. De gehalten zijn dus relatief laag. Echter, dit betekent niet noodzakelijkerwijs dat P limiterend was voor de groei. Om dit vast te kunnen stellen is een experimentele benadering nodig waarbij verschillende fosfaatniveaus worden aangelegd.

#### Zonnehoeve

De rotatie van de Zonnehoeve is weergegeven in Tabel 9. Op de Zonnehoeve wordt sinds 20 jaar geen krachtvoer meer aangevoerd, en enkel mest afgevoerd. Wel is er aanvoer van wat ruwvoer uit natuurgebieden. De telers Piet van IJzendoorn en Teka Kappers ervaren geen fosfaatgebrek in het gewas. De huidige rotatie bestaat uit 4 jaar, waarvan 2 jaar gras-klover en 2 jaar graan, erwten of bonen. Vroeger zat er nog kool in de rotatie maar tegenwoordig niet meer. De gemiddelde fosfaataanvoer (Tabel 9) is 34 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha per jaar (=15 kg P per ha per jaar). In het verleden was dit een 6 jarige rotatie: 1/3 gras/klover, 1/3 graan, 1/3 anders (bonen, erwten, kool).

Volgens de telers Piet van IJzendoorn en Teka Kappers worden opbrengstverschillen tussen percelen vooral veroorzaakt door verschillen in bodemstructuur. De teelt vindt plaats op zeer zware klei. Deze grond is kwetsbaar en gevoelig voor structuurproblemen. Volgens Van IJzendoorn is een goede structuur een voorwaarde is voor een geslaagd biologisch geteeld gewas op dergelijke grond. Een gangbaar geteeld gewas kan, door minerale bemesting, ook bij slechtere structuur nog een redelijke opbrengst geven.

Tabel 9. **De rotatie op de Zonnehoeve. Alle bemestingen vinden plaats met voorverteerde rundveepotstalmest.**

Jaar	Gewas	Bemesting (ton ha <sup>-1</sup> )	P2O5-aanvoer (kg ha <sup>-1</sup> )	P2O5-afvoer (kg ha <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>
1	Gras/klover	10-15	15.5	40 <sup>1</sup>
2	Gras/klover	Begrazen		10 <sup>1</sup>
3	Graan/erwten/bonen	20	60	30
4	Grasklover of graan/erwten/bonen	20	60	30
Gemiddeld			34	28

<sup>1</sup>Bij grasklover werd gerekend met 2x een volle snede maaien in het 1<sup>e</sup> jaar en alleen begrazen in het 2<sup>e</sup> jaar.

Tabel 10. **P-gehalten, opbrengst, opname en afvoer van P voor gewassen van de percelen van de Zonnehoeve.**

Gewas	P-gehalte product (g P kg DS <sup>-1</sup> )	P-gehalte rest (g P kg DS <sup>-1</sup> )	Opbrengst (kg DS ha <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	P-afvoer (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> )	P-opname (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> )
Wintertarwe	3,5	1,4	6351	35	44
Conserven-erwt	2,4 <sup>1</sup>	0,5 <sup>3</sup>	1410	49	55
Sperzieboon	5	0,69 <sup>3</sup>	540	6	12
Gras-klover	3,6	0,8 <sup>3</sup>	10000 <sup>2</sup>	82	143
Gras-klover	3,4	0,8 <sup>3</sup>	10000 <sup>2</sup>	77	138

<sup>1</sup>Gehalte van de peul, gehalte van de erwt: 5,9 g P kg<sup>-1</sup>.

<sup>2</sup>Gras-klover werd begraaasd waardoor opbrengstbepaling niet mogelijk was. De defaultwaarde voor biologische gras-klover van NDICEA is gebruikt.

<sup>3</sup>Deze gehalten zijn niet bepaald maar NDICEA-defaultwaarden zijn gebruikt voor de berekening van de P-opname.

Ook op de Zonnehoeve werd geen fosfaatgebrek waargenomen in het gewas, maar net als op de Stadsboerderij Almere lagen de gehalten van het graan, de peulen en de bonen van de Zonnehoeve meer dan 10% onder de NDICEA-defaultwaarden (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). In 2014 is hier een experiment aangelegd om vast te stellen of fosfaat limiterend is voor de groei.

Op de Zonnehoeve wordt op de onderzochte percelen gemiddeld per jaar 34 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aangevoerd, terwijl zo'n 28 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> wordt afgevoerd. Gemiddeld is er dus kleine positieve fosfaatbalans op perceelniveau van 6 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (Tabel 9).

### 3.3.2 Bodemanalyse & fractionering van fosfor

#### 3.3.2.1 P-totaal & minerale P-fracties praktijkbedrijven

Een overzicht van P-totaal en minerale P-fracties op de praktijkbedrijven, gemeten in 2012 en 2013, is gegeven in Tabel 11.

Tabel 11. **Bodemgegevens van de praktijkbedrijven (4 percelen elk) met langjarig lage P aanvoer vergeleken, 2012 en 2013, n=4, tussen haakjes standaarddeviatie, n.b.=niet bepaald, o.v.=ongelijke varianties, omr.=omrekening.**

Grootheid	Eenheid	2012			2013		
		Zonnehoeve	Stadsb. Alm.	p-waarde	Zonnehoeve	Stadsb. Alm.	p-waarde
pH	-	7,3 (0,0)	7,4 (0,0)	0,02	n.b.	n.b.	
P-totaal	mg/kg	603 (30)	563 (42)	0,17	564 (12)	544 (11)	0,27
P-totaal	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100g	138	129	omr.	129	125	omr.
P-CaCl <sub>2</sub>	mg/kg	0,2 (0,1)	0,3 (0,2)	0,71	n.b.	n.b.	
P-Al	mg/kg	72,8 (14,6)	76,5 (21,3)	0,78	57 (5,3)	68 (7,9)	0,29
P-Al	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100g	16,7	17,5	omr.	13,1	15,6	omr.
Pw	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /L grond	11,3 (4,5)	12,5 (7,1)	0,78	5,8 (1,0)	10,5 (2,6)	0,14
Fe-oxalaat	mg/kg	5390 (277)	5353 (152)	0,82	n.b.	n.b.	
Al-oxalaat	mg/kg	640 (15)	615 (21)	0,10	n.b.	n.b.	
P-oxalaat	mg/kg	321 (31)	289 (25)	0,15	n.b.	n.b.	
P-verz.	%	11,7 (1,5)	9,7 (0,8)	0,28	n.b.	n.b.	

#### P-totaal

Beide praktijkbedrijven blijken een voor landbouw op kleigrond vrij lage P-totaal te hebben (Tabel 11). Op beide bedrijven was P-totaal iets lager in 2013 dan in 2012. In beide jaren lag de gemiddelde P-totaal van de Stadsboerderij wat lager, maar deze verschillen waren niet significant.

#### Beschikbaarheid van anorganisch bodemfosfor

Voor beide bedrijven werden vergelijkbaar lage waarden gevonden voor P-AL, een maat voor de hoeveelheid P die de bodem nalevert gedurende het seizoen. De gemeten Pw was in 2012 laag (11-20 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup>) en

in 2013 zeer laag (<11 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup>) op beide bedrijven (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**; Kennisakker, **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). Ook de P-PAE (P-CaCl<sub>2</sub>), een maat voor de direct opneembare P in de bodem, was vergelijkbaar laag op beide bedrijven.

Tabel 12. De waardering van het Pw getal (mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup> grond) en van P-AL (mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 100 g<sup>-1</sup> grond) (Kennisakker, Brandsma et al., 2012).

Waardering	Pw-getal	P-AL-getal
Zeer laag	<11	<16
Laag	11-20	16-26
Voldoende	21-30	27-35
Ruim voldoende	31-45	
Vrij hoog	46-60	36-50
Hoog	>60	>50

#### P-verzadiging

Op beide bedrijven werd een P-verzadiging van rond de 10% gemeten in 2012 (Tabel 11). Dit betekent dat een relatief klein deel van de bindingscapaciteit aan aluminium en ijzer in de bodem bezet is door fosfaat (Schoumans et al., 2008).

#### 3.3.2.2 Organisch P & fosfatase-activiteit praktijkbedrijven

Een overzicht van de metingen aan organische stof en fosfatasen in 2012 en 2013 op beide praktijkbedrijven staat in Tabel 13.

Tabel 13. Bodemgegevens van de praktijkbedrijven (4 percelen elk) met langjarig lage P aanvoer vergeleken, 2012 en 2013, n=4, tussen haakjes standaarddeviatie, n.b.=niet bepaald, o.v.=ongelijke varianties, omr.=omrekening, Stadsb.=Stadsboerderij.

		2012			2013		
		Zonnehoeve	Stadsb. Almere	p-waarde	Zonnehoeve	Stadsb. Almere	p-waarde
pH	-	7,3 (0,0)	7,4 (0,0)	0,02	n.b.	n.b.	
Gloeiverlies		6,4 (0,1)	5,4 (0,2)	<0,001	n.b.	n.b.	
C-elementair	g/kg	n.b.	n.b.		32,5 (0,7)	27,2 (0,1)	o.v.
C-kurmies	g/kg	25,0 (1,4)	21,8 (0,5)	0,005	25,7 (0,6)	22 (0,0)	<0,001
Organische-stofgehalte	%	4,3 (0,2)	3,8 (0,1)	Omr.	4,4 (0,1)	3,8 (0,1)	Omr.
Zurefosfatase-activiteit	µg/g/ uur	1387 (683)	901 (755)	0,69	n.b.	n.b.	
Alkalinefosfatase-activiteit	µg/g/uur	1767 (679)	747 (327)	0,04	n.b.	n.b.	

#### Bodem-C

Het koolstofgehalte (gemeten als C-Kurmies en als gloeiverlies) was op de Zonnehoeve hoger dan op de Stadsboerderij Almere. Ook C-elementair leek hoger op de Zonnehoeve dan op de Stadsboerderij<sup>1</sup> (Tabel 13). Het C-gehalte komt overeen met een organische stofgehalte van 3.1 op de Stadsboerderij en 4.3 op de Zonnehoeve (uitgaande van een C-percentage in organische stof van 58%). Bij beide bedrijven was het organische stofgehalte en het koolstofgehalte op de verschillende percelen ongeveer gelijk (standaarddeviatie <6% van het gemiddelde).

#### Organisch fosfor

In 7 staan inschattingen voor organisch fosfor voor beide bedrijven in 2012 en 2013.

<sup>1</sup> Door ongelijke varianties kon niet worden vastgesteld of dit verschil significant is.

Tabel 14. **Organisch fosfor, berekend volgens twee methoden en gemeten met de Kuo-methode, voor twee bedrijven.**

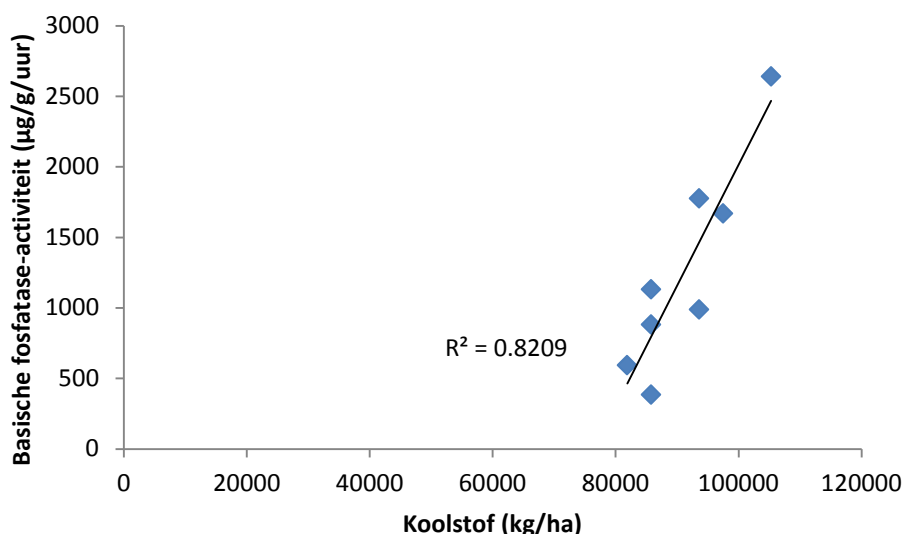
			2012		2013	
Methode			Zonnehoeve	Stadsb. Almere	Zonnehoeve	Stadsb. Almere
Kurmies	<b>P-totaal</b>	kg P ha <sup>-1</sup>	2352	2194	2201	2122
	<b>C-totaal</b>	kg C P ha <sup>-1</sup>	97500	84825	100425	85800
Berekening1	<b>P in org. stof</b>	kg P ha <sup>-1</sup>	886	771	913	780
	<b>P-org/P-tot</b>	%	<b>38</b>	<b>35</b>	<b>41</b>	<b>37</b>
Berekening2	<b>P-oxalaat</b>	kg P ha <sup>-1</sup>	1253	1126	n.b.	n.b.
	<b>P-tot-P-ox</b>	kg P ha <sup>-1</sup>	1099	1068	n.b.	n.b.
	<b>P-org/P-tot</b>	%	<b>47</b>	<b>49</b>	n.b.	n.b.
Kuo	<b>P-org</b>	kg P ha <sup>-1</sup>	842	445	726	467
Kuo	<b>P-anorg</b>	kg P ha <sup>-1</sup>	1785	1791	1593	1643
Kuo	<b>P-tot</b>	kg P ha <sup>-1</sup>	2629	2236	2321	2109
	<b>P-org/P-tot</b>	%	<b>32,0</b>	<b>19,9</b>	<b>31,3</b>	<b>22,1</b>

Organisch fosfor lag tussen de 445 en 913 kg P ha<sup>-1</sup> voor de beide bedrijven in 2012 en 2013 (Tabel 14). Dit is 20 respectievelijk 41% van de totale hoeveelheid fosfaat in de bodem. De berekeningen en metingen laten zien dat het aandeel organisch fosfor aanzienlijk kan zijn in deze gronden.

Het berekende aandeel organisch fosfaat varieerde tussen de 38 en 47% voor de Zonnehoeve, en tussen de 35 en 49% voor de Stadsboerderij Almere. Het gemeten aandeel lag iets lager: 20 respectievelijk 22% voor de Stadsboerderij Almere, en 32 respectievelijk 31% voor de Zonnehoeve in 2012 en 2013 (Tabel 7). De hoeveelheid organisch fosfor was hoger op de Zonnehoeve dan op de Stadsboerderij Almere (in 2013,  $p=0,002$ ).

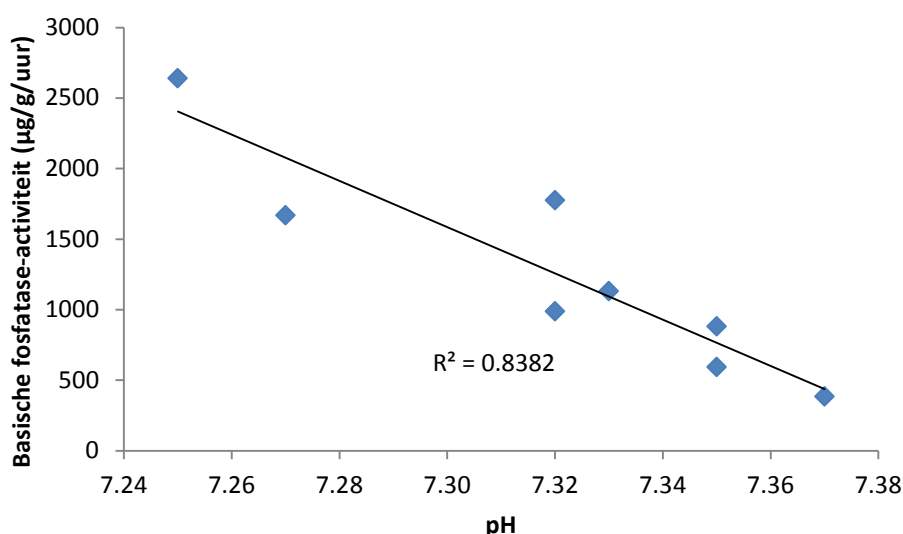
#### *pH en fosfatase-activiteit*

De pH op de percelen van de Stadsboerderij Almere was gemiddeld 7,4, die op de Zonnehoeve 7,3 (Tabel 113). Er werd een positief verband gevonden tussen zure fosfatase-activiteit en ijzeroxalaten ( $r^2=0,66$ ). Er werd echter geen verband gevonden tussen zure fosfatase-activiteit en P-Al (zoals bij MAK), of met een van de andere bodemparameters, ook niet met P-org. Alkaline-fosfatase-activiteit was positief gecorreleerd met koolstof ( $r^2=0,82$ ; 7) en negatief met pH ( $r^2=0,84$ ; 8). Duidelijke relaties met andere bodemparameters werden niet gevonden. De alkaline-fosfatase-activiteit en het koolstofgehalte waren hoger op de Zonnehoeve dan op de Stadsboerderij Almere, terwijl de pH op de Zonnehoeve iets lager was (Tabel 14).





Figuur 7. **Correlatie van basische fosfatase activiteit met koolstof in de bodem, voor acht percelen van twee bedrijven.**



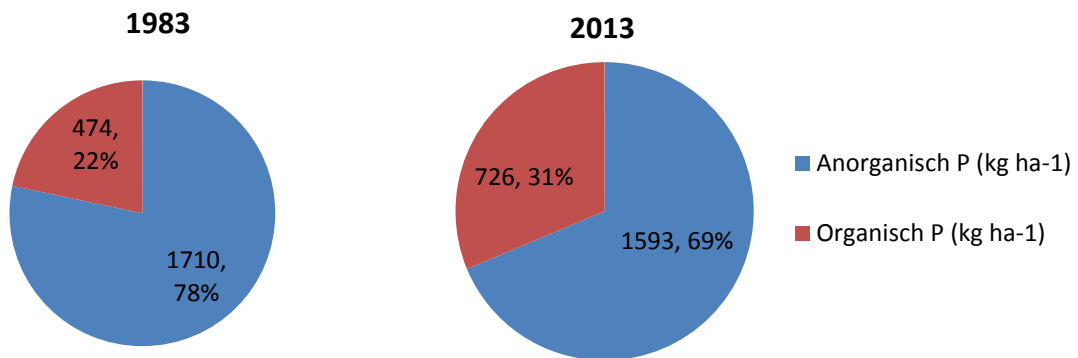
Figuur 8. **Correlatie van basische fosfatase activiteit met bodem-pH voor acht percelen van twee bedrijven.**

### 3.3.3 Zonnehoeve 1983 vs. Zonnehoeve 2013

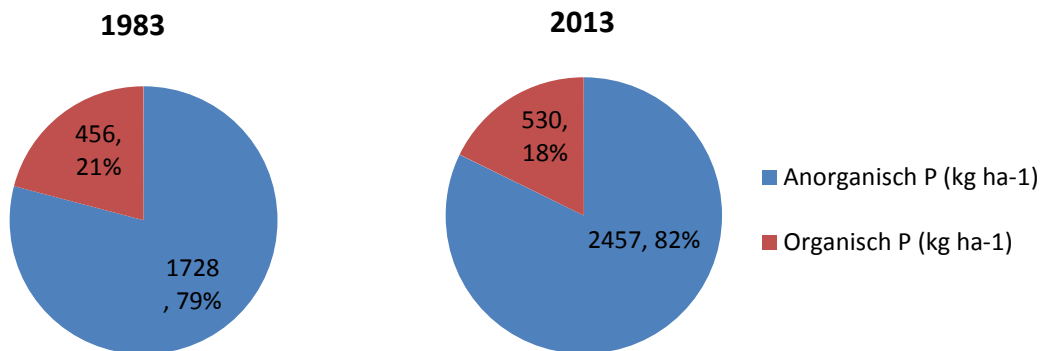
Het P-totaal-gehalte op de Zonnehoeve verschilde niet significant tussen 1983 en 2013. De Pw nam in die periode af van 12 (laag) tot 6 (zeer laag). Organisch gebonden P (Kuo-methode) nam daarentegen toe van 122 naar 189 mg kg<sup>-1</sup> (Tabel 15), terwijl totaal C-gehalte, gemeten als C-kurmies en C-elementair, niet toenam. Ook relatief gezien nam organisch gebonden P toe: van 22% van P-totaal in 1983 tot 31% van P-totaal in 2013, terwijl anorganisch P afnam (Figuur 8).

Tabel 15. **Bodem-fosforgehalten en C-gehalte van de Zonnehoeve, 1983 (2 percelen) en 2013 (4 percelen), standaardfout tussen haken. P-waarde van t-test.**

Grootheid	Eenheid	1983	2013	p-waarde
P-totaal	mg kg <sup>-1</sup>	553 (13)	564 (12)	0,586
P-totaal	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100 g <sup>-1</sup>	127	129	Omrekening
P-AI	mg kg <sup>-1</sup>	69 (3)	57 (5)	0,220
P-AI	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100 g <sup>-1</sup>	15,8	13,1	Omrekening
Pw	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup>	12 (1)	6 (1)	0,022
C-elementair	g kg <sup>-1</sup>	33 (1)	33 (1)	0,602
C-kurmies	g kg <sup>-1</sup>	27 (1)	26 (1)	0,329
P-anorg	mg kg <sup>-1</sup>	439 (15)	409 (13)	0,239
P-org	mg kg <sup>-1</sup>	122 (1)	186 (9)	0,009
P-totaal	mg kg <sup>-1</sup>	560 (14)	595 (19)	0,313



Figuur 9. **Relatieve verschillen in anorganisch en organisch gebonden fosfor op de Zonnehoeve in 1983 (n=2) en 2013 (n=4).**



Figuur 10. **Relatieve aandelen anorganisch en organisch gebonden P na 30 jaar gangbaar management. In 2013 was het aandeel organisch P significant lager op het gangbare perceel dan op het biologische perceel, terwijl het aandeel anorganisch P hoger was ( $p < 0,05$ , tweezijdig).**

### 3.3.4 Gangbaar versus biologisch bodembeheer: buurpercelen vergeleken

In 1983 bestonden er voor het merendeel van de gemeten parameters nog geen verschillen tussen de biologische percelen van de Zonnehoeve en het gangbare buurperceel (Tabel 16). Organisch gebonden P en het Pw-getal leken iets lager bij het gangbare perceel ( $p < 0,10$ , Tabel 16).

In 2013 waren er veel grotere verschillen tussen beide bedrijven: P-totaal nam met ongeveer 36% toe bij het gangbare perceel, terwijl het niet veranderde op de biologische percelen. Deze verhoging was bijna volledig te danken aan een toename van de anorganische P-fractie. Anorganisch gebonden P was dan ook hoger op het gangbare perceel dan op de Zonnehoeve, terwijl voor organisch gebonden P het omgekeerde gold ( $p < 0,05$ , Tabel 16). Tussen de percelen zat in 1983 geen verschillen in de relatieve aandelen organisch en anorganisch P. In 2013 was anorganisch P relatief hoger en organisch P relatief lager op het gangbare buurperceel dan op de zonnehoeve (Figuur 9, Figuur 10).

P-AI en Pw namen sterk toe bij het gangbare perceel en waren in 2013 hoger dan bij de zonnehoeve ( $p < 0,05$ , Tabel 16). Het koolstofgehalte (gemeten als C-elementair en C-kurmies) was niet veranderd.

Tabel 16. Bodemfosforparameters en koolstofgehalte voor een gangbaar gemanaged perceel in 1983 en 2013, en verschil met de Zonnehoeve (getest op 90% en 95% betrouwbaarheidsinterval, tweezijdig).

Grootheid	Eenheid	1983	Vershil met Zonnehoeve?	2013	Vershil met Zonnehoeve?
<b>P-totaal</b>	mg kg <sup>-1</sup>	555	n.s.	754	p<0,05
<b>P-totaal</b>	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100 g <sup>-1</sup>	127	omrekening	173	omrekening
<b>P-AI</b>	mg kg <sup>-1</sup>	81	n.s.	157	
<b>P-AI</b>	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100 g <sup>-1</sup>	18,6	omrekening	36,0	omrekening
<b>Pw</b>	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup>	15	p<0.10	21	p<0.05
<b>C-elementair</b>	g kg <sup>-1</sup>	33	n.s.	31	n.s.
<b>C-kurmies</b>	g kg <sup>-1</sup>	27	n.s.	26	n.s.
<b>P-anorg</b>	mg kg <sup>-1</sup>	443	n.s.	630	p<0.05
<b>P-org</b>	mg kg <sup>-1</sup>	117	n.s.	136	p<0.05
<b>P-totaal</b>	mg kg <sup>-1</sup>	560	n.s.	766	p<0.05

## 3.4 Discussie en conclusies

### 3.4.1 Fosforgebrek en fosforlimitatie

Het onderzoek op de praktijkbedrijven laat zien dat er biologische gemengde bedrijven zijn die telen bij lage externe aanvoer van fosfor, zowel op bedrijfsniveau als perceelniveau. De P-gehalten van de gewassen zijn op beide bedrijven lager dan gemiddeld. Echter P-gebreeks-verschijnselen zijn niet waargenomen en ook de telers rapporteren geen P-tekorten. Of P de groei limiteert is enkel met experimenten met P-trappen vast te stellen (in 2014 is een dergelijk experiment aangelegd op de Zonnehoeve).

### 3.4.2 Fosforbalans

In 1983 was er al een vergelijkbare rotatie met lage P aanvoer. Uit eerder onderzoek naar bodem en bemesting op de Zonnehoeve, (Buys, 1991) bleek onder andere dat de gemiddelde fosfaataanvoer in de periode 1982-1988 23 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> was, terwijl de afvoer 41 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> was. Momenteel lijkt de fosforbalans op perceelniveau echter niet negatief te zijn op de Zonnehoeve door beweiding en beperkte afvoer van fosfor. De percelen worden hierdoor niet uitgemijnd. Dit is in overeenstemming met de bodemanalyses: de totale hoeveelheid P op de Zonnehoeve is niet gedaald sinds 1983.

Een verklaring voor het ontbreken van fosfaatgebrek kan liggen in de aanwezigheid van vlinderbloemigen in het bouwplan: deze kunnen fosfor mobiliseren en de fosforopname van volggewassen verhogen (Hocking en Randall, 2002; Nuruzzaman *et al.* 2005; Pypers *et al.* 2007). Bij de Zonnehoeve maken vlinderbloemigen de helft uit van de gewasrotatie, bij de Stadsboerderij Almere 1/3. Of en hoe vlinderbloemigen op deze bedrijven een rol spelen in het mobiliseren en vrijmaken van fosfor voor volggewassen is onderwerp voor vervolgonderzoek.

Wanneer de fosforbalans op bedrijfsniveau negatief is, is het waarschijnlijk dat er translocatie van bodemfosfor van bepaalde percelen naar andere percelen plaatsvindt – waardoor op andere, niet-onderzochte percelen het totaal P-gehalte daalt. Om dit te onderzoeken zou een gedetailleerde fosforbalans voor het hele bedrijf opgesteld moeten worden, waarin aanvoer van fosfor door natuurcompost en diervoeding en afvoer van fosfor via producten en mest wordt meegenomen.

### 3.4.3 Bodemfosforstatus van praktijkbedrijven met sinds decennia beperkte externe aanvoer van fosfor

De lage externe aanvoer van fosfor is in overeenstemming met lage waarden voor beschikbaarheidsbepalingen Pw, P-AL en P-PAE. De bodemfosfortoestand van beide bedrijven is vergelijkbaar.

Metingen in 2013 bij de twee bedrijven laten zien dat 22% (Stadsboerderij Almere) en 31% (Zonnehoeve) van het totaalfosfaat in organische vorm of aan organische stof gebonden in de grond zit (KUO methode (Tabel14). Dit is lager dan de inschattingen op basis van een vaste C:P-verhouding van de organische stof

en op basis van oxalaat-extraheerbaar fosfor. Dit duidt erop dat de C:P-verhouding van de organische stof hoger is dan 110:1 zoals gevonden door (Black and Goring, 1953, in: Dalal, 1977) (138:1 en 183:1 voor de Zonnehoeve en de Stadsboerderij), en dat een berekening van organisch gebonden fosfor op basis van oxalaat-extraheerbaar fosfor op deze gronden geen betrouwbare inschatting geeft van organisch fosfor. Het organisch gebonden fosfor komt overeen met 1151 kg  $P_2O_5$  per ha in de bouwvoor op de percelen van de Stadsboerderij Almere, en 1792 kg  $P_2O_5$  per ha in de bouwvoor op de Zonnehoeve. Wanneer dit allemaal vrij zou komen, is dit voldoende voor 15 tot 25 jaar intensieve teelt als er verder niet bemest wordt. (Wanneer wordt uitgegaan van de gewasopname van een hoogproductief gewas van 40 kg P per ha (bv. gras(klaver) in 5 sneden gemaaid, met 10 ton DS opbrengst). Vanuit duurzaamheidsoogpunt is het echter onwenselijk op de bodem op deze manier uit te mijnen.

De fosfatase-waarden gevonden op de praktijkbedrijven waren hoger dan waarden gerapporteerd in andere onderzoeken. Dit zou samen kunnen hangen met een lage beschikbaarheid van anorganisch fosfaat: de Pw was op zes van de acht percelen op de praktijkbedrijven zeer laag. Echter, een correlatie tussen fosfatase-activiteit en Pw werd niet gevonden. Ook werd geen correlatie van fosfatase-activiteit met organisch fosfaat gevonden. Deze resultaten geven geen aanleiding om aan te nemen dat fosfatase-activiteit een indicatie geeft van mineralisatie van fosfor uit organisch gebonden fosfor.

Op beide praktijkbedrijven werd een positieve correlatie gevonden tussen ijzer-oxalaten en zure-fosfatase-activiteit. Dit verband werd niet gevonden bij het Mest Als Kans-proefveld (2.4.1). Het is bekend dat de afbraak van organisch fosfaat geremd wordt wanneer organische stof gebonden is aan metalen zoals ijzer (Tate, 1984) – wat een verklaring zou zijn voor de gevonden correlatie. Mogelijk speelt dit mechanisme een grotere rol bij hogere ijzergehalten, zoals op de praktijkbedrijven, dan bij lagere ijzergehalten, zoals bij MAK.

#### 3.4.4 Verschillen in bodemfosforstatus na jarenlang biologisch en gangbaar bodemmanagement: buurpercelen vergeleken

Op een perceel gelegen naast de Zonnehoeve heeft dertig jaar gangbaar bodemmanagement voor een toename van totaal fosfor, anorganisch fosfor, P-Al en Pw gezorgd. Deze grond is dus verrijkt met fosfor. Een dergelijke toename werd niet waargenomen na dertig jaar biologisch bodemmanagement met beperkte fosforaanvoer (een negatieve of licht positieve fosforbalans op perceelniveau) op de Zonnehoeve. Wat betreft Pw werd daar juist een afname waargenomen. Dit duidt op verminderde beschikbaarheid van bodemfosfor, zowel in vergelijking met 1983 als in vergelijking met het gangbare perceel.

Wel nam het absolute en relatieve aandeel organisch fosfor toe op de biologisch gemanagede percelen van de Zonnehoeve, zowel in vergelijking met de uitgangssituatie als in vergelijking met het gangbare buurperceel. De verschillende managementstrategieën hebben, opvallend genoeg, niet tot verschillen in koolstofgehalte geleid. De samenstelling van de organische stof is dus, in elk geval wat betreft fosfor, wel veranderd: de organische stof op het biologische bedrijf bevat relatief en absoluut gezien meer fosfor dan op het gangbare buurperceel en meer fosfor dan in 1983.

Deze metingen duiden er op dat organisch gebonden fosfor een grotere rol speelt in de fosforvoorziening van het gewas op het biologische bedrijf dan op het gangbare buurperceel. In hoeverre dit ook geldt voor een grotere groep biologische en gangbare bedrijven is een vraag voor vervolgonderzoek.

## 4 Fosfaatopname door groenbemesters en effect op volggewas

Kees van Wijk, PPO-AGV

### 4.1 Inleiding

Verzorging van de bodemstructuur en stimulering van het bodemleven zijn belangrijke maatregelen om de benutting van het in de bodem aanwezig fosfaat te verhogen en bij lage fosfaatsniveaus goed te kunnen telen. In meerjarig veldonderzoek van PPO wordt momenteel het effect getoetst van minimale grondbewerking op klei (Lelystad) en zandgrond (Vredepeel). Hiermee wordt onder meer beoogd de afbraak van organische stof in de bouwvoor te verlagen en daardoor meer organische stofgehalte (OS) op te bouwen in de bodem, dan wel het gehalte stabiel te houden. Een lagere afbraak van OS betekent ook een lagere mineralisatie van N en P. Anderzijds verhoogt minimale grondbewerking wellicht de fosfaatbeschikbaarheid doordat regenworm-activiteit gestimuleerd wordt. Regenwormen zorgen voor het vrijmaken van fosfaat in de bodem voor de plant. Het stimuleren van de aantallen en/of activiteit van regenwormen lijkt een perspectievolle maatregel om de fosfaatbenutting te verhogen. Vraag is welke van deze twee effecten het sterkst is, c.q. hoe groot het netto effect is op de beschikbaarheid van fosfaat.

Verder zijn er verschillen tussen gewassen in de mate waarin ze het fosfaat in de bodem weten te benutten. Dat geldt ook voor groenbemesters. Kruisbloemige en vlinderbloemige groenbemesters nemen fosfaat op uit de bodem, ook bij lage fosfaattoestand. Na inwerken van de groenbemester komt het opgenomen fosfaat na mineralisatie beschikbaar voor het volggewas. Hoe groot hiervan het effect is op de benutting van het bodemfosfaat, is onvoldoende gekwantificeerd. Wel zijn er aanwijzingen dat verschillende groenbemesters putten uit verschillende pools van de bodemfosfaatvoorraad.

In 2012 is een groenbemesters-velddoef gestart ter beantwoording van de volgende onderzoeksvragen: a) hoeveel nemen groenbemesters op aan fosfaat en hoeveel hiervan kan dat bijdragen aan fosfaatbenutting door het volggewas? b) is er nog verschil in opname tussen grondbewerkingssystemen: minimale Grondbewerking (Niet ploegen) en standaard Ploegen?

### 4.2 Materialen en methoden

De proef is in 4 herhalingen aangelegd op de zavelgrond van het proefbedrijf De Broekemahoeve (PPO Lelystad) na een tarweteelt. De kenmerken en gehalten van deze zavelgrond (analyse 2009) staan vermeld in tabel 17.

Tabel 17. **Bodemgegevens zavelgrond Groenbemestersproef; Broekemahoeve; analyse 2009.**

N-Tot	C N	N-lever	P-PAE	Advies Pw	P-AL	K	K-getal	S-totaal	Mg	Na	pH	KZ K	OS	Lutum	CE C	pH-
(mg/kg)		(mg/kg)	(mg/kg)		(mg/100 g)	(mg/kg)		(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	pH-KCl	%	%	%		PAE
1150	9	69	0,7	28	37	75	19	710	63	19	7,4	6,6	2	16	153	7,4

De *groenbemesters*, opgenomen in de proef, zijn veel gebruikte groenbemesters in de biologische teelt. Italiaans raaigras en bonte wikke zijn winterhard; gele mosterd sterft af bij vorst. Aanvankelijk was ook onderzaai van klaver in de tarwe als groenbemester opgenomen, maar de klaver had zich slecht ontwikkeld en is daarom vervangen door bonte wikke. De groenbemesters Italiaans raaigras en gele mosterd op

grondbewerkingssysteem *Ploegen* zijn voor de winter (op 11 november) bemonsterd, zowel de ondergrondse als bovengrondse gewasdelen. De winterwikke was nog te weinig ontwikkeld (te klein) om daarvan zinvol opbrengst te bepalen. Op het grondbewerkingssysteem *Niet Ploegen* is op 29 november de gele mosterd geoogst, vooraf aan het afsterven door vorst. Om inzicht in de gewasopnamen te krijgen zijn van alle geoogste behandelingen per gewasdeel de opbrengst bepaald en zijn door Blgg de fosfaat en N-totaal gehalten bepaald.

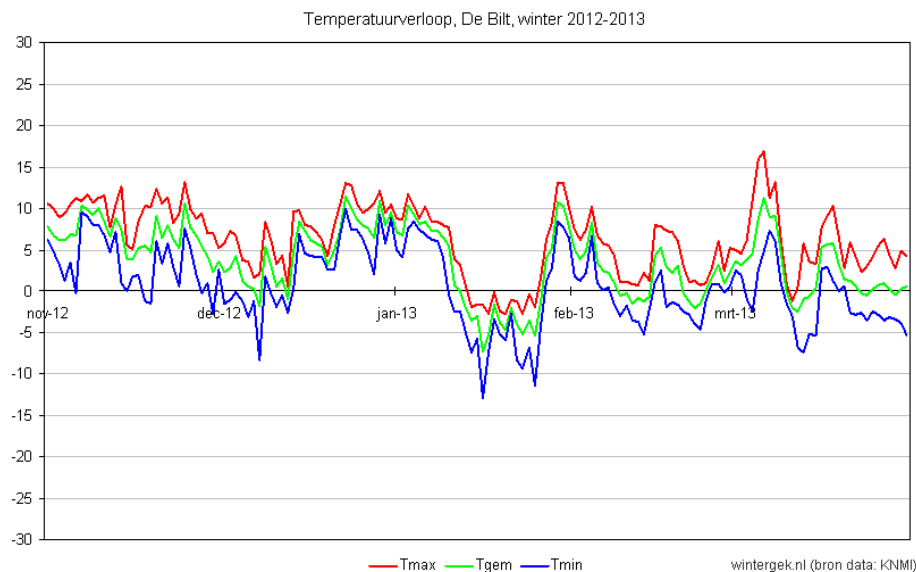
Het volggewas na de groenbemesters was winterpeen. De peen is gezaaid 7 juni. In augustus is in het gewas tussentijds geoogst (om een indruk van de startontwikkeling te krijgen) en in oktober is een eind oogst uitgevoerd. Ook van de peen is per gewasdeel de opbrengst bepaald en zijn door Blgg van fosfaat- en N-totaal-gehalten bepaald. Dit om inzicht in de gewasopnamen te krijgen. Nadere teelttechnische informatie staat in Tabel 18. De proefopzet en het schema staan vermeld in bijlage 1.

Tabel 18. **Nadere teelttechnische informatie Groenbemestersproef 2012/2013 en volggewas peen.**

onderwerp	informatie	Toelichting
<b>grondsoort</b>	zavelgrond	
<b>4 groenbemesters</b>	bonte winterwikke in de stoppel	i. p. v. slecht ontwikkelde klaver; zaai aug 2012; winterhard
	Italiaans raaigras onder dekvruucht	zaai april 2012; winterhard
	gele mosterd	zaai aug 2012; sterft
	geen groenbemester.	
<b>Voorafgaande hoofdteelt</b>	zomertarwe met onder zaai witte klaver	
<b>2 grondbewerkingssystemen</b>	minimale grondbewerking (niet ploegen + ploegen (standaard))	Uitvoering binnen Project BASIS*
<b>Oogst groenbemesters</b>	26 april 2013	
<b>volggewas winterpeen</b>	Zaai 7 juni 2013	
<b>Tussenoogst peen</b>	13 augustus 2013	
<b>Eindoogst peen</b>	18 oktober 2013	

Voor statistische analyse van de resultaten werd GenStat gebruikt. Resultaten zijn geanalyseerd met behulp van algemene variantie-analyse ( $\alpha < 0.05$ ).

*Weersverloop:* De winter 2012/2013 was vrij koud met een normale hoeveelheid zon en neerslag. In De Bilt was de gemiddelde temperatuur 2,9°C tegen een langjarig gemiddelde van 3,4°C. Het winterweer was wisselvallig met een grote vorstperiode in januari en kleine vorstperiodes in december, februari en maart (zie grafiek). De winterharde groenbemesters groeide niet in die periode en vielen terug in gewasmassa. Ook in maart en april was er weinig hergroei door het koude voorjaar.



## 4.3 Resultaten: groenbemesters en volggewas peen

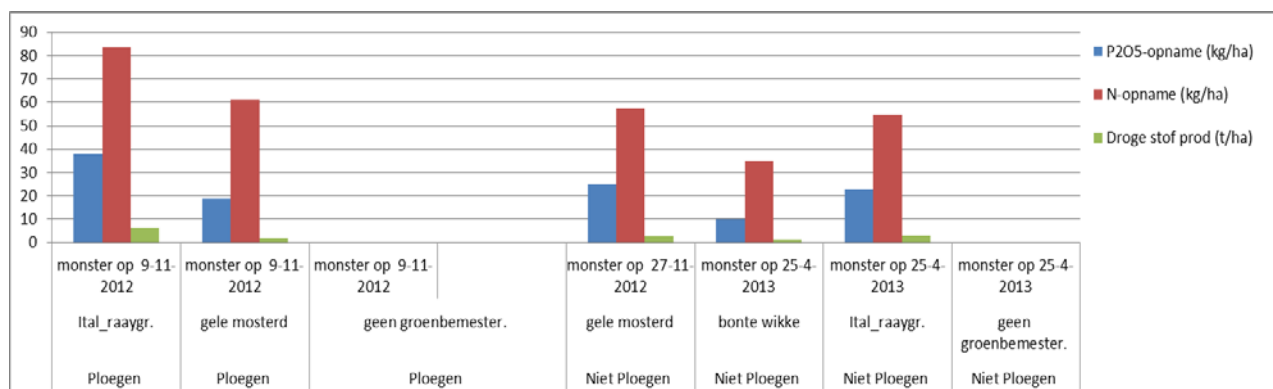
### 4.3.1 Groenbemesters

Tabel 19 en figuur 11 geven de fosfaat- en stikstofopname en droge stofproductie per groenbemesters en per grondbewerkingsstelsel weer. Naast de fosfaatopname is ook stikstof opname meegenomen, omdat er wellicht een bepaalde mate van stikstof-fosfaat (N-P) interactie is. Ook levert dit extra informatie op hoeveel stikstof er door groenbemesters wordt vastgelegd en eventueel daarvan ter beschikking komt van een volggewas.

Tabel 19. **Fosfaat- en stikstofopname en droge stof productie van groenbemesters per grondbewerkingsstelsel Ploegen en Niet Ploegen, winter 2012-2013, Broekmahoeve, PPO-AGV, Lelystad.**

Grond- bewerking	groenbemesters	monster- name op*	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -opname (kg/ha)	N-opname (kg/ha)	Droge stof prod (t/ha)
<b>Ploegen</b>	Ital. raaigras.	9-11-2012	38	84	6,2
<b>Ploegen</b>	gele mosterd	9-11-2012	19	61	1,8
<b>Ploegen</b>	geen groenbemester.	9-11-2012	0	0	0
<b>Niet Ploegen</b>	gele mosterd	27-11-2012	25	57	2,5
<b>Niet Ploegen</b>	Ital. raaigras	25-4-2013	23	55	3,1
<b>Niet Ploegen</b>	bonte wikke	25-4-2013	10	35	1,3
<b>Niet Ploegen</b>	geen groenbemester.	25-4-2013	0	0	0

*\*Bij grondbewerking Ploegen zijn de monsters kort voor het ploegen genomen; bij Niet Ploegen is gele mosterd voor de vorst bemonsterd, omdat deze uitvriest; de andere groenbemesters zijn in het voorjaar bemonsterd, ruimschoots voor de rugopbouw van de peen, opdat de stoppel geen hinder geeft bij de peenzaai.*



Figuur 11. **Fosfaat-, en stikstofopname (kg/ha) en droge stofproductie (t/ha) door de groenbemesters per grondbewerkingssysteem, winter 2012/13, Broekmahoeve, PPO-AGV, Lelystad.**

*Droge stofproductie:* De hoogste en laagste droge stofproductie van de groenbemesters verschilden in de herfst factor 3. In het voorjaar was het verschil ruim factor 2. Dit verschil wordt veroorzaakt door het type groenbemester, de zaaidatum en de al dan niet vlotte beginontwikkeling. Een goed opgekomen onderzaai (zoals in deze proef Italiaans raaigras) heeft een forse ontwikkelingsvoorsprong, vergeleken met een groenbemester die na de graanoogst gezaaid wordt. Mislukt de onderzaai dan kan nog voor een alternatief gekozen worden, zoals zich in deze proef voordeed.

De *totale fosfaatopname* was bij Italiaans raaigras met Ploegen voor de winter hoger dan bij niet Ploegen na de winter. Bij gele mosterd was de totale fosfaatopname voor de winter op ploegen lager dan op niet ploegen (beide bemonsterd voor de winter). Bij winterwikke geoogst na de winter was de totale fosfaatopname het laagst.

Zoals bekend leggen groenbemesters ook stikstof vast. De stikstofvastlegging is factor 2-3 keer groter dan de fosfaatvastlegging. De *totale stikstofopname* was bij Italiaans raaigras met Ploegen voor de winter hoger dan bij niet Ploegen na de winter. Bij gele mosterd was de totale stikstofopname voor de winter op ploegen gelijk aan niet ploegen (beide bemonsterd voor de winter). Bij winterwikke geoogst na de winter was de totale stikstofopname het laagst.

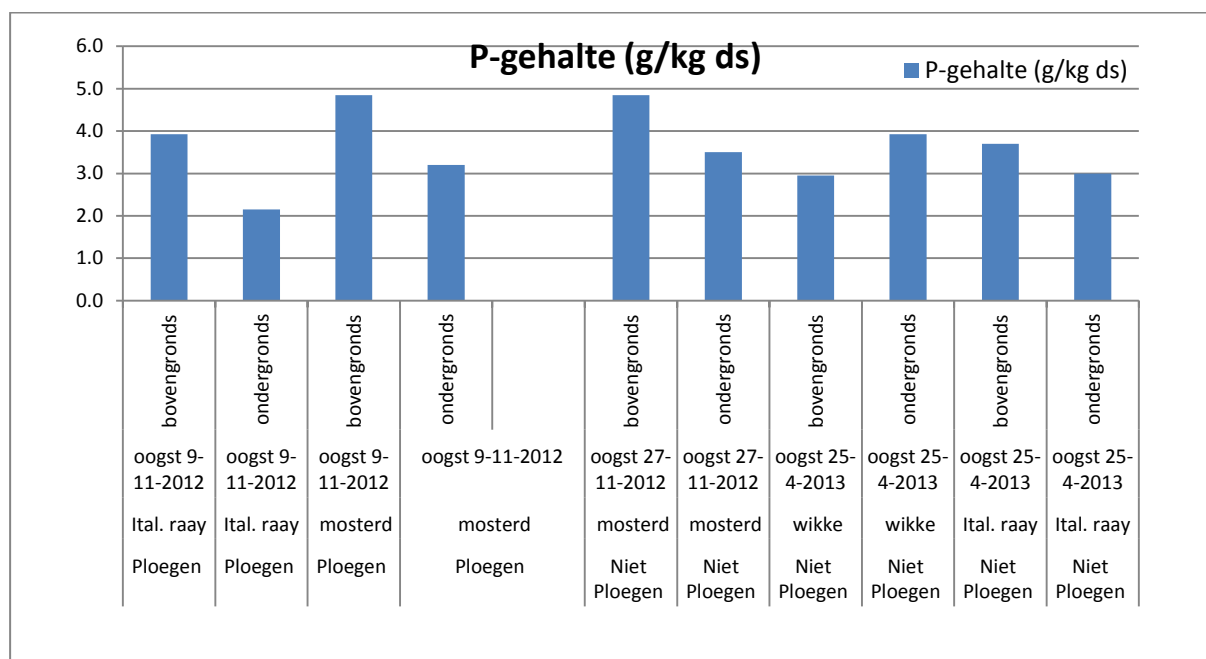
De totale fosfaatopname is afhankelijk van de *droge stofproductie* en de *gehalten*. De droge stof productie van Italiaans raaigras was van alle groenbemesters het hoogst zowel voor als na de winter. Na de winter was bij Italiaans raaigras de droge stof productie wel aanzienlijk lager. Gele mosterd produceerde in de 14 dagen langere groeitijd bijna 30% meer droge stof.

*Fosfaatgehalten:* In tabel 20 zijn de fosfaat- en stikstofgehalten samen weer gegeven. In figuur 12 zijn de fosfaatgehalten per groenbemester en per grondbewerkingssysteem in beeld gebracht.



Tabel 20. **Fosfaat- en stikstofgehalten van groenbemesters per grondbewerkingssysteem Ploegen en Niet Ploegen, winter 2012-2013, Broekmahoeve, PPO-AGV, Lelystad.**

Grond- bewerking	groenbemester s	oogstdatum	gewasmon- ster s	P-gehalte (g/kg ds)	N-gehalte (g/kg ds)
Ploegen	Ital. raaigras	oogst 9-11-2012	bovengronds	3,9	22,6
Ploegen	Ital. raaigras	oogst 9-11-2012	ondergronds	2,2	9,5
Ploegen	mosterd	oogst 9-11-2012	bovengronds	4,9	38,5
Ploegen	mosterd	oogst 9-11-2012	ondergronds	3,2	12,4
Niet Ploegen	mosterd	oogst 27-11-2012	bovengronds	4,9	34,2
Niet Ploegen	mosterd	oogst 27-11-2012	ondergronds	3,5	11,8
Niet Ploegen	wikke	oogst 25-4-2013	bovengronds	3,0	28,2
Niet Ploegen	wikke	oogst 25-4-2013	ondergronds	3,9	24,5
Niet Ploegen	Ital. raaigras	oogst 25-4-2013	bovengronds	3,7	22,8
Niet Ploegen	Ital. raaigras	oogst 25-4-2013	ondergronds	3,0	14,6



Figuur 12. **Fosfaatgehalten van groenbemesters per grondbewerkingssysteem Ploegen en Niet Ploegen, winter 2012-2013, Broekmahoeve, PPO-AGV, Lelystad**

*Algemeen fosfaatgehalten:* Het verschil tussen het *laagste* en *hoogste* fosfaatgehalten van de bovengrondse delen van de 3 beproefde groenbemesters is met 1,9 g/kg droge stof vrij aanzienlijk; dat is bijna 40% van het hoogste gehalte. Bij de ondergrondse worteldelen verschilt het hoogste en laagste gehalte 1,7 g/kg droge stof; ruim 40% van het hoogste gehalte.

*Fosfaatgehalte per groenbemester:* De fosfaatgehalten zijn bij gele mosterd het hoogst zowel van de bovengrondse gewasmonsters als van de ondergrondse wortel. Bij Italiaans raaigras is het bovengrondse gehalte vòòr de winter en na de winter nagenoeg gelijk, terwijl het gehalte van de wortels aanzienlijk hoger is dan voor de winter.

*Gehalten bovengrondse en ondergrondse gewasonderdelen:* Bij 2 van de 3 groenbemesters scoren de ondergrondse delen over de hele linie lager dan de bovengrondse delen. Bij wikke zien we het omgekeerde; daar blijkt juist de ondergrondse wortelmassa een hoger fosfaatgehalte te hebben.

*Algemeen stikstofgehaltes:* Het verschil tussen het *laagste en hoogste stikstofgehaltes* van de bovengrondse delen van de 3 beproefde groenbemesters is met 16,1 g/kg droge stof vrij aanzienlijk; dat is ruim 40% van het hoogste gehalte. Bij de ondergrondse worteldelen verschilt het hoogste en laagste gehalte 15 g/kg droge stof; ruim 60% van het hoogste gehalte, vooral veroorzaakt door het hoge gehalte van wikke na de winter.

*Stikstofgehalte per groenbemester:* De stikstofgehaltes van de bovengrondse gewasmonsters zijn bij gele mosterd het hoogst. Bij het wortelgehalte scoort wikke erg hoog.

*Vergelijking stikstofgehaltes bovengrondse en ondergrondse gewasonderdelen:* de bovengrondse delen hebben steeds per groenbemester een hoger gehalte dan de wortels. Vòòr de winter zijn de stikstofgehaltes van bovengrondse delen factor 2-3 hoger dan van de ondergrondse delen. Na de winter zijn de verschillen aanzienlijk kleiner; 20-40%.

*Conclusie: de droge stofproductie en de gehalten van groenbemesters zorgen er beide voor hoeveel fosfaat (en stikstof) uit de bodem worden vastgelegd in de groenbemester. Ook deze proef laat zien dat sleutelfactoren voor een hoge vastlegging aan fosfaat zijn: de bewuste keuze van een groenbemester met hoge gehalten en die veel droge stof produceert. Droge stofproductie wordt bepaald door de groeikracht van de groenbemester, de beschikbare groeitijd van de groenbemester en de groeiomstandigheden tijdens de groeiperiode. Een zo vroeg mogelijke zaai zoals bijvoorbeeld groenbemester in tarwe verdient de voorkeur vanwege de langere groeiperiode. Mocht de onderzaai mislukken, dan kan alsnog als alternatief een snel groeiende groenbemester gezaaid worden.*



Figuur 13. **Impressie van groenbemestersproef november 2012; 1 = winterwikke, matig ontwikkeld, 2= geen groenbemester (kale tarwestoppel), 3= Italiaans raaigras, goed ontwikkeld, 4= mosterd, goed ontwikkeld.**

#### 4.3.2 Volggewas peen

Vastlegging van fosfaat met een groenbemester moet gevolgd worden door *beschikbaar komen van dit fosfaat* voor het volggewas, in dit geval peen. Peen, geteeld op kleigrond is beperkt fosfaatbehoefte en is in de *Adviesbasis voor bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroenten gewassen* ingedeeld in gewasgroep 3. Dat betekent dat bij een Pw van 25 nog 45 kg  $P_2O_5$ /ha gegeven moet worden en bij een Pw 30 nog 20 kg  $P_2O_5$ /ha. De Pw-toestand van de proef is 28, dat zou duiden op een behoefte van ca. 35 kg/ha.

Er is een eindoogst uitgevoerd om de relatie tussen vastlegging door de groenbemester en de opname door en productie van het volggewas te onderkennen. Theoretisch gezien is bij de eindoogst geen scherpe opbrengstreactie te verwachten omdat winterpeen een lange groeitijd heeft en daardoor veel tijd heeft om de fosfaat op te nemen. Fosfaat heeft vaak wel veel invloed op de snelheid van de beginontwikkeling. Daarom is ook een tussentijdse oogst op 13 augustus uitgevoerd.

#### 4.3.3 Tussenoogst peen

*Van de tussenoogst peen zijn per behandeling de fosfaatopname, de N-opname van de groenbemester en volggewas peen en ook de gewasproductie peen vermeld in tabel 21. Hier zijn de data van het hele gewas*

gepresenteerd omdat de peen nog niet volgroeid is en de mineralenverdeling tussen loof en peenwortel nog niet stabiel is. In figuur 14 zijn de mineraal opnamen en gewasproductie van de tussenooft peen nog apart in beeld gebracht.

Bij *Niet Ploegen* is de fosfaat- en stikstofopname en de gewasproductie van de tussenooft peen opvallend genoeg het hoogst bij de behandeling *geen groenbemester*. De fosfaat-opnamen en gewasproducties van peen verschillen verder weinig tussen de 3 groenbemesters behandelingen.

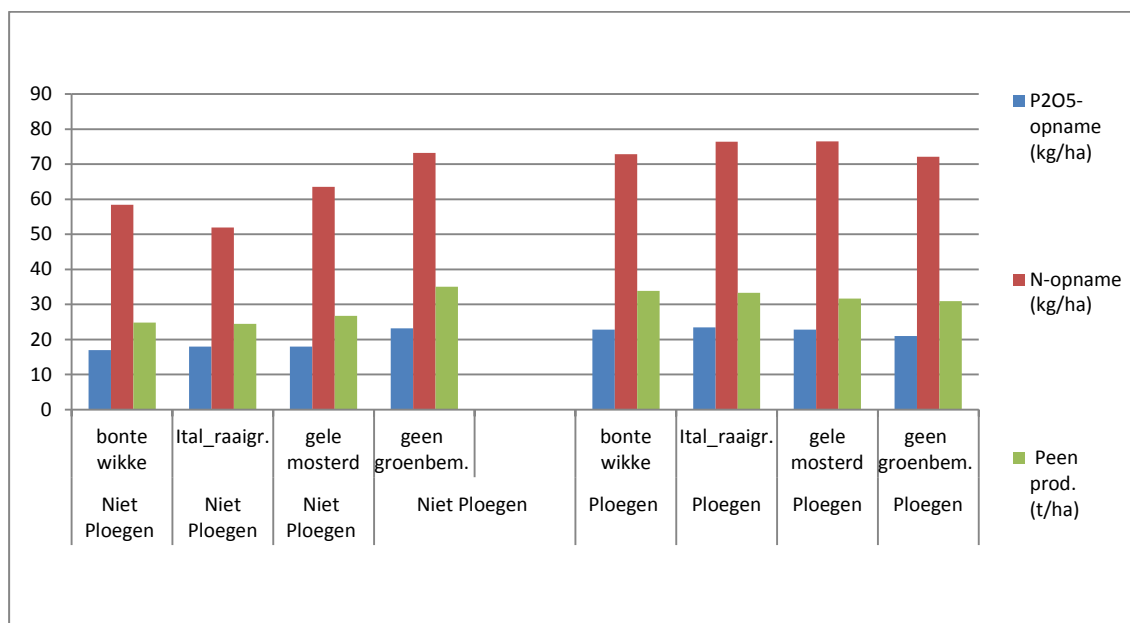
Bij *Ploegen* verschilt de fosfaat- en stikstofopnamen en de peen gewasproducties bij deze tussenooft onderling weinig tussen de diverse groenbemestersbehandelingen. Behandeling *geen groenbemester* heeft gemiddeld een beperkt lagere fosfaat en stikstofmineraalopname en een lagere gewasproductie.

De verschillen tussen de grondbewerkingssystemen Niet ploegen en Ploegen bleken betrouwbaar voor fosfaat en stikstofopname maar niet voor de gewasproductie.

Tabel 21. **Fosfaatopname, N-opname van groenbemesters en van het volggewas peen +productie gehele peengewas (loof+peen) van de tussenooft 13 -8- 2013 per grondbewerkingssysteem, Broekmahoeve, PPO-AGV, Lelystad.**

Grondbewerking	Groenbemesters	Mineralenaanbod uit groenbemester		tussenooft volggewas peen		
		P205 (kg/ha)	N (kg/ha)	P205-opname (kg/ha)	N-opname (kg/ha)	loof+peen prod. (t/ha)
<b>Niet Ploegen</b>	bonte wikke	10	35	17	58	25
<b>Niet Ploegen</b>	Ital_raaigr.	23	55	18	52	24
<b>Niet Ploegen</b>	gele mosterd	25	57	18	64	27
<b>Niet Ploegen</b>	geen groenbem.	0	0	23	73	35
Niet Ploegen	<b>gemiddeld</b>			<b>19</b>	<b>62</b>	<b>28</b>
<b>Ploegen</b>	bonte wikke	0*	0*	23	73	34
<b>Ploegen</b>	Ital_raaigr.	38	84	23	76	33
<b>Ploegen</b>	gele mosterd	19	61	23	76	32
<b>Ploegen</b>	geen groenbem.	0	0	21	72	31
Ploegen	<b>gemiddeld</b>			<b>23</b>	<b>74</b>	<b>32</b>
<b>Lsd grondbewerk.</b>				<b>3,8</b>	<b>10,5</b>	<b>6,1 (ns)</b>
<b>Fpr groenbemester * grondbewerking</b>				<b>0,018</b>	<b>0,017</b>	<b>0,014</b>

\* De bonte wikke was voor de winter slecht ontwikkeld en daarom niet bemonsterd; de mineralen-aanbod uit wikke is nagenoeg nihil geweest.



Figuur 14. **Fosfaatopname, N-opname en productie van het gehele peengewas van de tusse oogst 13 augustus 2013, Broekemahoeve, PPO-AGV, Lelystad.**

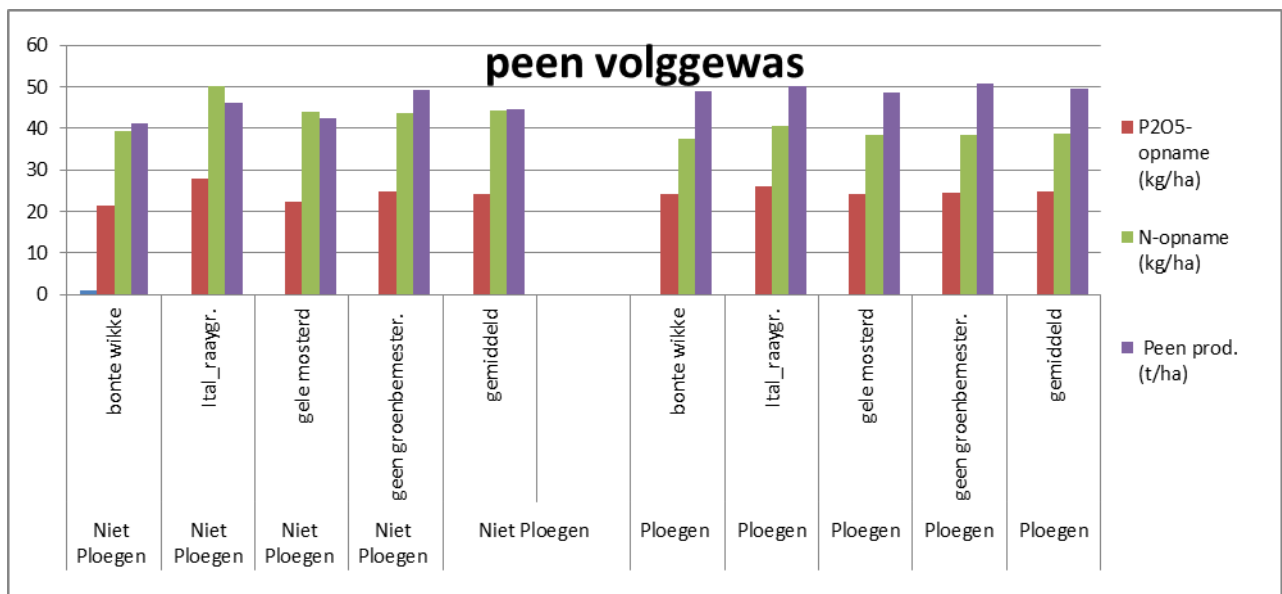
#### 4.3.4 Eindoogst peenwortels

Tabel 22 en de Figuur 15 geven de fosfaat- en stikstofopname en *productie van peen (wortel)* per groenbemester en per grondbewerkingssysteem weer, gespiegeld aan het mineralen aanbod uit de groenbemester.

Tabel 22. Fosfaat- en stikstofopname en verse productie van volggewas peen (wortelopbrengst) per grondbewerkingssysteem (Ploegen en Niet Ploegen) en per groenbemester, gespiegeld aan het mineralenaanbod uit groenbemesters; teeltjaar 2013, Broekmahoeve, PPO-AGV, Lelystad.

Grondbewerking + groenbemesters		Mineralenaanbod uit groenbemester		Eindoogst volggewas peen (wortels)		
		P205 (kg/ha)	N (kg/ha)	peen P205-opname (kg/ha)	Peen N-opname (kg/ha)	Peen prod. (t/ha)
<b>Niet Ploegen</b>	bonte wikke	10	35	21,4	39,3	41,1
<b>Niet Ploegen</b>	Ital_raagr.	23	55	27,8	50,1	46,2
<b>Niet Ploegen</b>	gele mosterd	25	57	22,3	43,8	42,3
<b>Niet Ploegen</b>	geen groenbemester.	0	0	24,8	43,6	49,1
Niet Ploegen	<b>gemiddeld</b>			<b>24,1</b>	<b>44,2</b>	<b>44,7</b>
<b>Ploegen</b>	bonte wikke	0*	0*	24,1	37,4	48,9
<b>Ploegen</b>	Ital_raagr.	38	84	26,0	40,7	50,1
<b>Ploegen</b>	gele mosterd	19	61	24,1	38,4	48,7
<b>Ploegen</b>	geen groenbemester.	0	0	24,3	38,3	50,7
Ploegen	<b>gemiddeld</b>			<b>24,6</b>	<b>38,7</b>	<b>49,6</b>
<b>Lsd grondbewerk.</b>				<b>4,7</b>	<b>7,5</b>	<b>6,9</b>
<b>Lsd groenbemesters</b>				<b>3,3</b>	<b>10,6</b>	<b>4,8</b>

\* De bonte wikke was voor de winter slecht ontwikkeld en daarom niet bemonsterd; de mineralen-aanbod uit wikke is nagenoeg nihil geweest.



Figuur 15. Fosfaat- en stikstofopname en verse productie van eindooft volggewas peen wortelopbrengst per groenbemester en per grondbewerkingssysteem, teeltjaar 2013, Broekmahoeve, PPO-AGV, Lelystad.

Ook bij de eindooft is met *Niet Ploegen* de peen wortelproductie opvallend genoeg het hoogst bij de behandeling *geen groenbemester*. De fosfaat- en stikstofopname door de peen waren bij Italiaans raaigras het hoogst.

Bij *Ploegen* is de *gemiddelde* peen wortelproductie 4,9 ton/ha hoger *dan Niet Ploegen*. Ook de productie *per groenbemester* is *bij Ploegen* stelselmatig hoger vergeleken met *Niet Ploegen*.

Bij *Ploegen* zijn geen opbrengstverschillen tussen de diverse groenbemestersbehandelingen onderling. Ook de behandeling *geen groenbemester* heeft een gelijke productie. Binnen behandeling *Ploegen* zijn de fosfaat- en stikstofmineraalopnamen door de peen wisselend tussen de groenbemesters en ze verschillen niet betrouwbaar.

Conclusie tussenooft: Het grondbewerkingssysteem had in deze proef grote invloed op de wortelproductie. Grondbewerking *Ploegen* gaf bijna 5 t/ha meer opbrengst dan *Niet Ploegen*. De groenbemesters behandelingen hadden weinig invloed op de productie en mineralenopnamen vergeleken met *geen groenbemester*.

De hogere productie bij *geen groenbemester* (= geen extra mineralen aanbod) binnen behandeling *Niet Ploegen* is opvallend, temeer daar de opname van fosfaat en stikstof niet beduidend verschilt. Wellicht beïnvloeden de verterende groenbemesters de peenwortel productie negatief.



Figuur 16 & 17. **Ongesorteerd Eindproduct Peen van 'Ploegen' en 'Niet-Ploegen', beide van de Groenbemester Italiaans raaigras.**

De figuren 16 & 17 van het *ongesorteerd product van eind oogst peen* laten zien dat er geen groot verschil is tussen de behandelingen *Ploegen* en *Niet-Ploegen*. Het eind oogst product van de andere behandelingen geeft hetzelfde beeld.

#### 4.3.5 Eind oogst totale peengewas

Hoewel het effect van de wortelproductie bij de eind oogst op de behandelingen het belangrijkste is, zijn ook de gegevens van het totale gewas. Wellicht geeft de totale gewasproductie aan ander beeld van productie en mineralen -opnamen. Tabel 23 en de Figuur 18 geven de fosfaat- en stikstofopname van het totale peengewas per groenbemester en per grondbewerkingssysteem weer, gespiegeld aan het mineralen aanbod uit de groenbemester.



Tabel 23. Fosfaat- en stikstofopname en verse productie van totale peengewas (loof+peen) bij de eind oogst per grondbewerkingssysteem en per groenbemester, gespiegeld aan het mineralen aanbod uit groenbemesters; teeltjaar 2013, Broekmahoeve, PPO-AGV, Lelystad.

Grondbewerking	Groenbemesters	mineralen aanbod uit groenbemesters		Eind oogst volg gewas totaal Peenwortel en peenloof		
		P205- (kg/ha )	P205- (kg/ha)	P205-opname (kg/ha)	N-opname (kg/ha)	prod. (t/ha)
<b>Niet Ploegen</b>	bonte wikke	10	35	41	130	79
<b>Niet Ploegen</b>	Ital_raaygr.	23	55	47	134	80
<b>Niet Ploegen</b>	gele mosterd	25	57	43	141	81
<b>Niet Ploegen</b>	geen groenbemester	0	0	46	135	89
Niet Ploegen	<b>gemiddeld</b>			<b>44.2</b>	<b>135</b>	<b>82.3</b>
<b>Ploegen</b>	bonte wikke	0*	0*	42	115	88
<b>Ploegen</b>	Ital_raaygr.	38	84	46	130	93
<b>Ploegen</b>	gele mosterd	19	61	43	122	90
<b>Ploegen</b>	geen groenbemester	0	0	43	122	90
Ploegen	<b>gemiddeld</b>			<b>43.5</b>	<b>122</b>	<b>90</b>
<i>Lsd grondbewerk.</i>				<i>5.7</i>	<i>21.0</i>	<i>11.3</i>
<i>Lsd groenbemesters</i>				<i>4.1</i>	<i>5.7</i>	<i>8.0</i>

\* De bonte wikke was voor de winter slecht ontwikkeld en daarom niet bemonsterd; de mineralen-aanbod uit wikke is nagenoeg nihil geweest.

Hoewel bij eind oogst van *totale gewas* (wortel + peen) de verse productie en mineralenopnamen op een hoger niveau liggen, verschillen de resultaten tussen de behandelingen niet significant.

Ook hier is met *Niet Ploegen* de gewasproductie opvallend genoeg het hoogst bij de behandeling *geen groenbemester*. De fosfaat- en stikstofopname door het gewas waren bij Italiaans raaigras en bij geen groenbemester betrouwbaar hoger dan bij wikke.

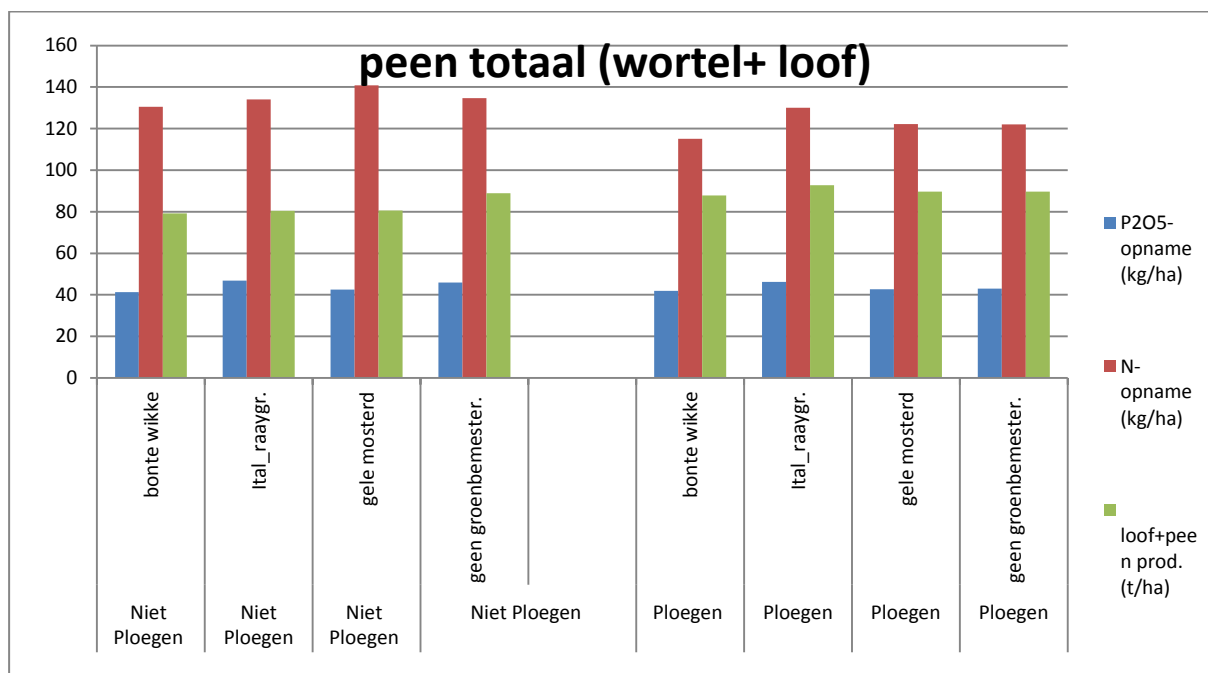
*Bij Ploegen is de totale gewasproductie bijna 8 ton/ha hoger dan Niet Ploegen. Dit verschil was net net significant.* Ook hier is de productie *per groenbemester* is *bij Ploegen* stelselmatig hoger vergeleken met *Niet Ploegen*.

Bij *Ploegen* zijn geen opbrengstverschillen tussen de diverse groenbemestersbehandelingen onderling. Ook de behandeling *geen groenbemester* heeft een gelijke productie. Binnen behandeling *Ploegen* zijn de fosfaat- en stikstofmineraalopnamen door de peen tussen de groenbemesters wisselend en ze verschillen niet betrouwbaar.

Conclusie eind oogst: Ook bij het totale gewas had het grondbewerkingssysteem in deze proef een grote invloed op de wortelproductie. Ploegen gaf bijna 8t/ha meer opbrengst dan niet Ploegen. De groenbemesters behandelingen hadden geen invloed op de productie en mineralenopnamen vergeleken met geen groenbemester.

De opbrengst en mineralenopnamen van het totale gewas wijken onderling niet wezenlijk af van alleen het peen(wortel)gewas. Uiteraard is er wel een hoger productieniveau en is mineralenopnamen groter.





Figuur 18. Fosfaat- en stikstofopnamen en verse productie van eindoogst van het totale volggewas (loof+wortel) per groenbemester en per groundbewerkingssysteem, teeltjaar 2013, Broekmahoeve, PPO-AGV, Lelystad.

## 4.4 Discussie en conclusies

### 4.4.1 Groenbemesters

De totale opname in kg fosfaat per ha verschilde tussen de beproefde groenbemesters enorm. De hoeveelheid fosfaat wordt bepaald van de *droge stofproductie* en het *gehalte*. De hoogste en laagste droge stofproductie van de groenbemesters verschilden in de herfst factor 3. In het voorjaar was het verschil ruim factor 2. Italiaans raaigras scoorde het hoogst in droge stofopbrengst zowel voor als na de winter. Gele mosterd produceerde in de 14 dagen langere groeiperiode in de herfst bijna 30% meer droge stof. Het verschil in *droge stofproductie* wordt veroorzaakt door de factoren a) *groeikracht* van de groenbemester en *snelheid van beginontwikkeling*, b) *het weer* tijdens de herfstgroeiperiode en c) het *aantal groeidagen* dat de groenbemester krijgt voordat deze wordt ondergeploegd. Bij teelt op een *niet ploegen* perceel is de groeiperiode langer, maar in deze proef halveerde in de winter de hoeveelheid droge stof door afbraak/rot. Er was weinig hergroei in het koude voorjaar en de vroege bewerking eind maart. Dus in deze proef gaf verlenging van de groeiduur richting de winterperiode niet meer vastlegging van P (en N). Van de genoemde productiefactoren is *het weer* niet te sturen, maar de keuze van de groenbemester (met een grote groeikracht) is aan de teler en hij kan ook de lengte van de groeiduur binnen bepaalde grenzen sturen. Bijvoorbeeld een vroeg gezaaide goede onderzaai bij (zoals in deze proef Italiaans raaigras) heeft een forse ontwikkelingsvoorsprong, vergeleken met een groenbemester die na de graanoogst gezaaid wordt. Ook een eerdere oogst van de hoofdteelt (bijvoorbeeld door oogstvervroeging of keuze van een vroeg ras, geeft meer groeidagen voor de groenbemester. In de praktijk kiest men vaak al voor een snel groeiende groenbemester voor zover dat in het vruchtwisselingsplaatje past.

*Gehalten*. Het verschil tussen het *laagste en hoogste fosfaatgehalten* van de bovengrondse delen van de 3 beproefde groenbemesters is met 1,9 g/kg droge stof vrij aanzienlijk; dat is bijna 40% van het hoogste gehalte. Bij de ondergrondse worteldelen verschilt het hoogste en laagste gehalte 1,7 g/kg droge stof; ruim 40% van het hoogste gehalte. In de praktijk wordt bij de keuze van de groenbemester weinig rekening gehouden met het verschil in fosfaatgehalten, deels omdat daarover weinig bekend is bij de teler. Raaigras, maar ook phacelia en serradella, cichorei leggen veel fosfaat vast. Met name vanuit raaigras komt fosfaat (vanwege de lignine in het gewas) maar langzaam beschikbaar voor directe volggewas Dit blijkt uit

labproeven met gewasafbraak door cycli van nagebootste vorstperioden (Eichler, 2008, Liu, 2013). Literatuuronderzoek en zo nodig aanvullend proefveldonderzoek is nodig om verschillen in fosfaatgehalten tussen groenbemesters en het al dan niet snel beschikbaar komen voor het volggewas, in kaart te brengen, zodat de teler voor groenbemesters met de hoge fosfaatgehalten in combinatie met snel vrijkomende fosfaat kan kiezen.

Conclusie groenbemesters: de droge stofproductie en de gehalten van groenbemesters bepalen samen hoeveel fosfaat uit de bodem wordt vastgelegd in de groenbemester. De droge stofproductie wordt bepaald door de groeikracht van de groenbemester, de beschikbare groeitijd en de groeiomstandigheden tijdens de groeiperiode. Een zo vroeg mogelijke zaai verdient de voorkeur vanwege de langere groeiperiode, bijvoorbeeld een onderzaai van een groenbemester in tarwe, of een groenbemester zaai voor eind augustus. Meer onderzoek is nodig naar welke groenbemesters hoge P-gehalten hebben en ook snel vrij geven voor een volggewas.

#### 4.4.2 Effect groenbemesters op volggewas peen

Vastlegging van fosfaat met een groenbemester moet gevolgd worden door *beschikbaar komen van dit fosfaat* voor het volggewas en zich uiten in een hogere productie. In deze proef was in de vaste rotatie het volggewas peen. Peen, geteeld op kleigrond staat bekend als beperkt fosfaat behoeftig. De Pw-toestand van het proefveld is 28. Volgens de adviesbasis bemesting duidt dat bij peen op een fosfaatbehoefte van ca. 35 kg/ha.

Het hoogste aanbod uit de groenbemester was 38 kg fosfaat; de laagste was 0 kg. Beide extremen in fosfaataanbod hadden geen invloed op de peenproductie bij de eindoogst.

Ook bij het *totale gewas* (peenwortel + peenloof) werd hetzelfde patroon gevonden. Fosfaataanbod uit de groenbemester had geen invloed op de totale gewasproductie. De oorzaak van geen effect kan zijn de beperkte fosfaatbehoefte van peen bij Pw toestand 28. Ook is niet bekend hoe snel in deze vastgelegd in groenbemesters beschikbaar is gekomen voor het volggewas. Dit onderzoek zou ook bij een lagere fosfaattoestand herhaald moeten worden (Pw10-20) en met een meer fosfaatbehoefte volggewas om het effect op het volggewas beter te kunnen meten. Met name de opname van vlinderbloemige groenbemesters verdienen daarin aandacht, omdat deze ook N aanmaken en vastleggen.

Conclusie effect op volggewas:

Voor peen, geteeld op deze proefpercelen was fosfaat geen bottle-neck voor de opbrengst. De Pw-toestand van het proefveld was 28. Volgens de adviesbasis bemesting is de aanvullende fosfaatbemesting dan gemiddeld 35 kg/ha. Het gewas kon blijkbaar in de lange warme groeiperiode (zomer 2013) voldoende fosfaat vanuit de bouwvoor opnemen, ook zonder groenbemester. Onderzoek bij een lagere P toestand en met een fosfaatbehoefte volggewas is nodig om het effect van fosfaat uit groenbemester op een volggewas beter te toetsen

#### 4.4.3 Grondbewerkingssysteem

Zowel bij de peen wortels bij het totale gewas (loof + peen) had in deze proef het grondbewerkingssysteem een grote invloed op de wortelproductie. *Ploegen* gaf bijna 5 ton meer wortelopbrengst en 8 t/ha meer opbrengst aan totaal gewas (loof + peen) dan *Niet Ploegen*. Een wat beter zaaibed bij het geploegde perceel, met minder gewasresten van groenbemesters kan hiervan de oorzaak zijn.

Conclusie grondbewerkingssysteem: Het geringe verschil in fosfaatopname door peen tussen de grondbewerkingssystemen kan er op duiden a) dat het gewas niet meer fosfaat nodig had, of b) dat het vrijkomen van fosfaat uit vers en oud organisch materiaal beperkt was.

#### 4.4.4 Hoe verder?

Interessant is of er andere bruikbare groenbemesters zijn die veel fosfaat opnemen en vrijmaken voor het volggewas. Dat zal verder vanuit de literatuur geïnventariseerd worden.

Verder blijft de vraag hoe het opbrengsteffect van fosfaat uit groenbemesters is op gronden met zeer lage fosfaattoestand (bijvoorbeeld  $> P_w 20$ ) bij een fosfaatbehoefte volggewas, zoals sla. Daar zal het vervolgonderzoek zich op richten.



# Literatuur

Brandsma, J., J.C. van Middelkoop, A.P. Philipsen, C. van Dongen, D.W. Bussink, A.J. Bos, G.L. Velthof, J.J. de Haan, J.J. Schröder, G. Abbink, N. van Eekeren. 2012. Bemestingsadvies. Commissie bemesting grassland en voedergrassen, p.a. Animal Sciences Group, Wageningen. 189 p.

Eichler-Löbermann, et al, (2008), Effect of Catch cropping on Phosphorus Bioavailability in Comparison to Organic and inorganic Fertilization, H. pf Plant Nutrition, 31: 659-676  
[http://download.springer.com/static/pdf/942/art%253A10.1007%252Fs11104-013-1716-y.pdf?auth66=1390727018\\_a47b0191c7432652f82a7272bc74e0ea&ext=.pdf](http://download.springer.com/static/pdf/942/art%253A10.1007%252Fs11104-013-1716-y.pdf?auth66=1390727018_a47b0191c7432652f82a7272bc74e0ea&ext=.pdf)

Ehlert et al., *Determination of organic phosphorus in soils*. Poster.

Enwezor, W.O., 1976. The mineralization of nitrogen and phosphorus in organic materials of varying C:N and C:P ratios. Plant and soil 44 (1), pp.237-440.

Griffiths B. S., A. Spilles and M. Bonkowski 3, 2012. C:N:P stoichiometry and nutrient limitation of the soil microbial biomass in a grazed grassland site under experimental P limitation or excess. Ecological Processes, 1:6

Guppy et al., 2005. *Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soils: a review*. Australian Journal of Soil Research, 43, 189-202

Haan, J.J. de & van Geel, W. 2013. Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen UR, Lelystad. 146 p.

He, Z.L., J. Wu, A.G. O'Donnell and J. K. Syers., 1997. Seasonal responses in microbial biomass carbon, phosphorus and sulphur in soils under pasture.

Helmke, P.A., Boerth, T.J., He, X. 2000. Bioavailability of organically-bound soil phosphorus. Proceedings of the Wisconsin Crop Management Conference, University of Wisconsin, Madison.  
<http://soils.wisc.edu/extension/wcmc/2000.php>

Hocking, P.J., Randall, P.J. 2002. Better growth and phosphorus nutrition of sorghum and wheat following organic acid secreting crops. Developments in Plant and Soil Sciences 92: 548-549.

Iqbal, S.M., 2009. Effect of crop residue qualities on decomposition rates, soil phosphorus dynamics and plant phosphorus uptake. Thesis (Ph.D.) – University of Adelaide, School of Earth and Environmental Sciences. At: <http://digital.library.adelaide.edu.au/dspace/handle/2440/49812>

Jian Liu & Rafa Khalaf & Barbro Ulén & Göran Bergkvist, Potential Phosphorus release from catch crop shoots and roots after freezing-thawing  
Plant Soil (2013) 371:543–557

Kamh, M., Horst, W.J., Amer, F., Mostafa, H., Maier, P. 1999. Mobilisation of soil and fertilizer phosphate by cover crops. Plant and Soil 211: 19-27.

Kautz et al., 2013. *Nutrient acquisition from arable subsoils in temperate climates: A review*. Soil Biology & Biochemistry 57, 1003-1022

Keller et al., 2012. *Phosphorus forms and enzymatic hydrolyzability of organic phosphorus in soils after 30 years of organic and conventional farming*. J. Plant Nutr. Soil Sci., 175, 385–393

- Kirkby, C.A., J.A. Kirkegaard, A.E. Richardson, L.J. Wade, C. Blanchard, G. Batten, 2011. Stable soil organic matter: A comparison of C:N:P ratios in Australian and other world soils. *Geoderma*, 163: 197-208.
- Kuo, S., 1996. Phosphorus. In: D. L. Sparks, Ed., *Methods of Soil Analysis*, Part 3 SSSA; Book Ser. 5 SSSA, Madison, pp. 869-920.
- Mader, P., A. Fliebbach, D. Dubois, L. Gunst, P. Fried, U. Niggli, 2002. Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. Vol 296 *Science* 1694-1697.
- Magid-Nielsen, 1992. *Seasonal variation in organic and inorganic phosphorus fractions of temperate-climate sandy soils*. *Plant and Soil* 144: 155-165, 1992
- Manzoni, S., J. A. Trofymow, R. B. Jackson and A. Porporato, 2010. Stoichiometric controls on carbon, nitrogen, and phosphorus dynamics in decomposing litter. *Ecological Monographs*, Vol. 80, No. 1 (February 2010), pp. 89-106
- Nannipieri, P., Giagnoni, L., Landi, L., Renella, G. 2011. Role of phosphatase enzymes in soil. *Phosphorus in action*. *Soil Biology* 26, 215-243.
- Nuruzzaman, M., Lambers, H., Bolland, M.D.A., Veneklaas, E.J. 2005. Phosphorus benefits of different legume crops to subsequent wheat grown in different soils of Western Australia. *Plant and Soil* 271: 175-187.
- Nuruzzaman, M., Lambers, H., Bolland, M.D.A., Veneklaas, E.J. 2005b. Phosphorus uptake by grain legumes and subsequently grown wheat at different levels of residual phosphorus fertiliser. *Australian Journal of Agricultural Research* 56: 1041-1047.
- Oberson et al., 2010 *Fresh and residual phosphorus uptake by ryegrass from soils with different fertilization histories*. *Plant Soil* 334:391–407
- Oehl et al., 2004. *Basal organic phosphorus mineralization in soils under different farming systems*. *Soil Biology & Biochemistry* 36, 667–675
- Piegholdt et al., 2013. *Long-term tillage effects on the distribution of phosphorus fractions of loess soils in Germany*. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 176, 217–226
- Shen et al., 2011. *Phosphorus Dynamics: From Soil to Plant*. *Plant Physiology*, 156, pp. 997–1005
- Reddy, D.D., Rao, A.S., Rupa, T.R. 2000. Effects of continuous use of cattle manure and fertilizer phosphorus on crop yields and soil organic phosphorus in a Vertisol. *Bioresource Technology* 113-118
- Pypers, P., Huybrights, M., Diels, J., Abaidoo, R., Smolders, E., Merckx, R. 2007. Does the enhanced P acquisition by maize following legumes in a rotation result from improved soil P availability? *Soil Biology & Biochemistry* 39: 2555-2566.
- Qualls, R.G., Richardson, C.J. 2000. Phosphorus enrichment affects litter decomposition, immobilization, and soil microbial phosphorus in wetland mesocosms. *Soil science society of America journal* 64, 799-808.
- Riddle, Matthew Unwin and Lars Bergström, Phosphorus Leaching from Two Soils with Catch Crops Exposed to Freeze–Thaw Cycles, *Agronomy, Soils & Environmental Quality*, Published in *Agron. J.* 105:803–811 (2013) <https://www.agronomy.org/publications/aj/pdfs/105/3/803>
- Rose, T.J., Damon, P., Rengel, Z. Phosphorus-efficient faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes enhance subsequent wheat crop growth in an acid and an alkaline soil. *Crop & Pasture science* 61: 1009-1016.
- Schinner, F. R. Ohlinger, E. Kandeler, R. Margesin, 1993. *Bodenbiologische Arbeitsmethoden* Springer

Verlag, Berlin Heidelberg, ed. 2).

Shaw, L.J. & R.G. Burns, Enzyme activity profiles and soil quality. In "Microbiological Methods for Assessing Soil Quality" (J. Bloem, D.W. Hopkins and A. Benedetti, editors), pp. 158-182. CABI, Wallingford, UK.

Timmermans, B.G.H., W. Sukkel, J.G. Bokhorst. 2012. Telen bij lage fosfaatk niveaus in de biologische landbouw; achtergronden en literatuurstudie. Rapport 2012-029 LbP. Louis Bolk Instituut, Driebergen, 32 p.

Turner Blackwell et al., 2013. *Isolating the influence of pH on the amounts and forms of soil organic phosphorus*. European Journal of Soil Science, 64, 249–259.

White, R.E. and A.T. Ayoub, 1983. Decomposition of plant residues of variable C/P ratio and the effect on soil phosphate availability. Plant and soil, 74 (2) 163-173.





# Bijlage 1 Schema Groenbemestersproef 2012/2013

